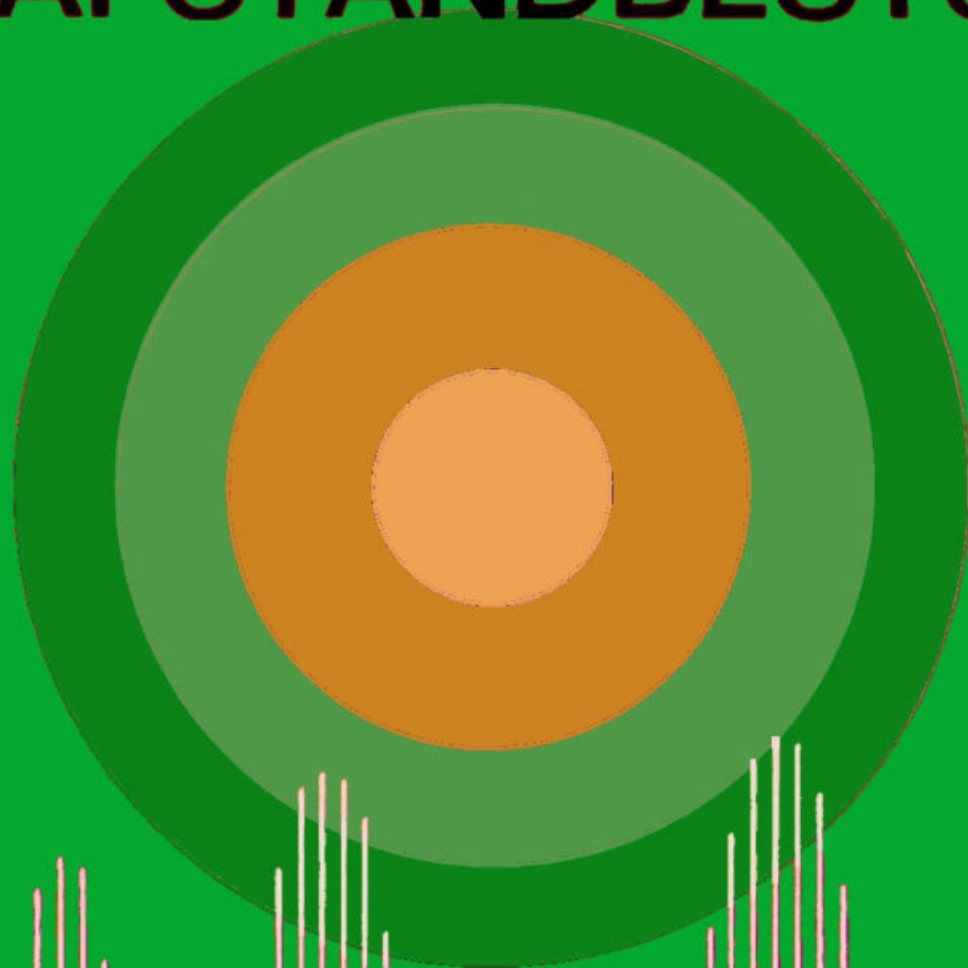


J.F. VAN OORT

HOOGFREQUENT AFSTANDBESTURING



deel 2
ontvangers

KLUWER - DEVENTER

==== *kader* REEKS =====

642

HOOGFREQUENT AFSTANDBESTURING

HOOGFREQUENT AFSTANDBESTURING

Deel 2 ONTVANGERS

J.F. van Oort

≡≡≡ *kader* REEKS ≡≡≡
KLUWER - DEVENTER

Dit boek bevat 140 pagina's, 47 figuren en 39 foto's

© N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven, Nederland, 1971

Nadruk, ook gedeeltelijk, verboden

PHILIPS



Merken van N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken

ISBN 90 201 062 85

Geen garantie wordt gegeven, dat de in dit boek vervatte informatie vrij loopt van octrooirechten; door deze publikatie wordt geen enkele licentie onder eventueel bestaande octrooien verleend.

Gedrukt in Nederland

VOORWOORD

Dit tweede deel, waarin de ontvangers voor radiobesturing met de daarbij behorende stuurorganen worden behandeld, is het vervolg van het deel "Zenders". Beiden hebben als voorloper het boek "Radiogolven", waarin de werking van de zend- en ontvangantennes ter sprake komt en het gedrag van de radiogolf. Dit ontvangerboek geeft tenslotte 4 praktische ontvangerschakelingen die bedoeld zijn om samen te werken met de 4 praktische zenderschakelingen uit deel I.

J.F. van Oort

INHOUD

Voorwoord	V
Hoofdstuk 1 INLEIDING	1
Hoofdstuk 2 REIKWIJDTE	5
Veldsterkte	5
Vereiste veldsterkte	8
Bepaling van de reikwijdte voor een vliegtuig	11
Bepaling van de reikwijdte voor een boot	11
De ontvangantenne	12
Hoofdstuk 3 DETECTIE	14
Diode-ontvanger	16
Rechtuitontvanger	19
Hoofdstuk 4 DE SUPERREGENERATIEVE ONTVANGER	22
Werking van de self-quenching superregeneratieve ontvanger	23
Superregeneratieve ontvanger met HF-voortrap	30
Hoofdstuk 5 DE SUPERHETERODYNE ONTVANGER	33
Blok-schema en principe van de superhet	34
Principe	35
De hoogfrequent voortrap	40
De mengtrap	42

De oscillator	44
De middenfrequentversterker	46
Detectie	47
Automatische volumeregeling	48
Kort overzicht van de ontvangereigenschappen en reikwijdten	49
Hoofdstuk 6 TOONKANALENFILTERS	51
Het reedrelais	52
Werking	53
Constructie	54
De schakeling van het reedrelais	56
Elektrische filters	57
De schakeling van het elektrische filter	59
Hoofdstuk 7 HET SCHAKELLEN VAN DE SERVOMOTOREN	62
Relaisschakeling met reedrelais voor 2-kanalenservo	63
Transistorschakeling met reedrelais voor 2-kanalenservo	66
Relaisschakeling met elektrische filters voor 2-kanalen- servo	70
Transistorschakeling met elektrische filters voor 2-kanalenservo	71
Hoofdstuk 8 SERVOMOTOREN	75
Overzicht servomotoren	76
Eénkanaalservo's	77
Escapement	77
Eénkanaalservo's met 6 functies	80
Metz Mecatronic I	81
Schakelwalsen	86

	Tweekanalenservo's	89
	Mechanisch neutraliserende servo's	90
	Mechanisch niet neutraliserende servo's	92
	Elektrisch neutraliserende en niet neutraliserende servo's	94
Hoofdstuk 9	PRAKTISCHE ONTVANGERSCHAKELINGEN	97
	Ontvanger I, ruisontvanger	98
	Ontvanger II, éénkanaalontvanger	101
	Ontvanger III, vijfkanalenontvanger	104
	Aandrijfmotor	105
	Stuurmotor	105
	Elektronisch gedeelte	106
	Filterunit met relaisschakeling	107
	Filterunit met schakeltransistors	111
	Voeding	114
	Ontvanger IV, 12-kanalenontvanger	114
	Afluisterontvanger	120
Hoofdstuk 10	DIVERSEN	122
	De voeding van filterunits en stuurmotoren	123
	De voeding voor de aandrijfmotoren	123
	Ontstoring	124
	Elektromotoren	126
	Keuze van de boot	127
	Keuze van het vliegtuig	127
	De praktijk van het besturen	128

INLEIDING

Een ontvanger, bestemd om een model op afstand te besturen, behoort onafscheidelijk bij de bij hem bedoelde zender. Men kan ze niet los van elkaar denken. Niet alleen dat beiden op dezelfde golflengte afgestemd moeten zijn, maar ook de frequenties van de kanalen en het doel van de kanalen moeten overeenstemmen.

De taak van onze ontvanger is heel anders dan die van een omroepontvanger. Wij ontvangen maar één zender, terwijl een omroepontvanger zoveel mogelijk zenders moet kunnen ontvangen. Verder zijn de eisen die wij aan onze ontvanger stellen veel hoger omdat er veel meer van afhangt. Wanneer iemand met hart en ziel zijn model heeft gebouwd en dat dan door een weigering van zender of ontvanger ziet verdwijnen, of nog erger - als het een vliegtuig betreft - te pletter ziet vallen, zal hij het zich verwijten niet de allergrootste zorg aan zijn apparatuur te hebben besteed. Hoe beter en betrouwbaarder alles werkt vóór we er met ons model op uit trekken, des te meer kans hebben we dat alles goed gaat. In de eerste plaats moeten we dus precies weten wat we doen en waarom.

De ontvanger is een precisie-instrument, dat zeer geringe spanningen vanuit de antenne krijgt toegevoerd: er is een versterking nodig van 100.000 à 1.000.000 keer om deze spanningen tot bruikbare spanningen op te voeren. Een zó gevoelig instrument wordt dan ook nog in de omgeving geplaatst van trillende motoren en vonkende contacten van relais of van elektromotoren, terwijl het een flinke stoot moet kunnen verduren. Desondanks moet het toch betrouwbaar en zonder mankeren de commando's op de juiste wijze blijven interpreteren en doorgeven aan de bedoelde servomotoren. Daarom moeten we zéér degelijk bouwen, zodat de kans op losse draden, slechte soldeerverbindingen, los trillende schroeven, of het verstemmen van afstemkringen wordt voorko-

men. Dit is een kwestie van accuratesse.

Moeilijker wordt het met de stoorsignalen. Deze komen de antenne binnen en worden met het zendersignaal mee versterkt. Het is dus zaak de sterkte van het zendersignaal groot te maken waardoor de stoorsignalen naar verhouding weinig of niets meer hebben in te brengen.

Samenvattend kan men de taak van de ontvanger in de volgende punten weer-
geven:

1. Uit de chaos van de vele zender- en stoorsignalen moet het juiste zender-
signaal alleen worden geselecteerd.
2. Dit signaal moet zodanig worden versterkt dat het iets kan schakelen.
3. De ontvanger moet de tonen, waarmee de draaggolf is gemoduleerd en die de
commandodragers zijn, scheiden van de draaggolf en via filters dirigeren
naar de betreffende servomotoren.
4. De ontvanger moet het antennesignaal tot een bepaald niveau opvoeren, on-
afhankelijk van de sterkte van dit antennesignaal. M.a.w. er moet een auto-
matische volumeregeling aanwezig zijn die er voor zorgt dat de afstand tus-
sen zender en ontvanger geen invloed heeft op de sterkte van de tonen die aan
de toonfilters ter selectie worden aangeboden.
5. De toonselectie moet met grote precisie gebeuren, zodat de commando's het
juiste spoor vinden naar de voor hen bestemde servomotoren. Vooral bij een
10- of 12-kanalensysteem is dit een verantwoordelijke taak. Niet alleen van-
wege het feit dat de toonfrequenties dan dicht naast elkaar liggen, maar
vooral ook omdat een dergelijk systeem meestal voor de duurdere modellen
bestemd is.
6. Aan de ene kant is men geneigd de gevoeligheid van de ontvanger zo groot
mogelijk te maken, want des te groter is de reikwijdte. Dit heeft eigenlijk
weinig zin omdat dan ook de gevoeligheid voor de stoorsignalen groot is.
Deze bepalen de grens van de reikwijdte waar nog een betrouwbare com-
mando-overdracht mogelijk is. Het zendersignaal moet de stoorsignalen
blijven overstemmen en dit kan alleen als het zendersignaal zó sterk is dat

de automatische volumeregeling in werking komt die de gevoeligheid vermindert en daarmee het doordringen van de stoorsignalen. En toch werkt men graag met gevoelige ontvangers, want in noodgevallen, als we aan de grens van de reikwijdte zijn gekomen, is er altijd nog hoop dat een commando, al of niet geheel betrouwbaar, zijn juiste uitwerking heeft.

De diverse ontvangertypen die voor ons doel in aanmerking komen hebben, door hun specifieke eigenschappen, hun eigen toepassingsgebied. Ongevoelige ontvangers die alleen maar op korte afstand werken (enkele meters) zijn meestal zeer betrouwbaar en goedkoop. Daarentegen zijn gevoelige, betrouwbare ontvangers vrij gecompliceerd en duur. Een veel gebruikt ontvangertype, de superregeneratieve ontvanger, is zowel gevoelig als goedkoop, maar hij is nogal onbetrouwbaar. Zo zal bij ieder model, afhankelijk van de prestaties die het moet leveren, een ontvangertype behoren dat voor hem het meest geschikt is. We zullen bij de behandeling van de diverse typen nader op hun toepassingsgebied ingaan.

Een gevoelige, betrouwbare ontvanger is moeilijk te bouwen en is eigenlijk voor een beginner niet aan te bevelen, omdat er enige ervaring aan vooraf moet zijn gegaan, wil men het tot een goed einde brengen. Er zijn diverse eenvoudige mogelijkheden die in de loop van dit boek ter sprake zullen komen en we zullen dan ontdekken dat het heel goed mogelijk is om met een simpele zender en ontvanger een model te besturen met een overmaat aan reikwijdte en een redelijke betrouwbaarheid. Maar toch zullen we niet rusten, voordat we het beste van het beste bezitten en we ons gaan wagen aan een prachtige set, geschikt voor alle doeleinden: een zender met groot vermogen en een selectieve ontvanger, gevoelig, klein, licht in gewicht, in te bouwen in elk model en geschikt voor veel commando's.

Met een dergelijke installatie kunnen we dan ook simultaan (met andere tegelijk) werken en met wedstrijden meedoen. Want voor dat doel moet de selectiviteit zodanig zijn, dat de zenders die op een ander kanaal werken niet in onze ontvanger kunnen doordringen.

Simultaan werken is ook mogelijk met één zender, waarvan de 8 of 12 toonkanalen in 2 of 3 porties worden verdeeld. In zo'n geval wordt elk model met b.v. 4 toonkanalen bestuurd die dan met 1 of 2 extra bedieningskastjes kunnen worden geschakeld. Alleen kan men zich dan niet meer vrij bewegen, omdat de kastjes met snoeren aan de zender vastzitten. De verdeling van de kanalen geschiedt dan gewoonlijk als volgt:

Model I	kanalen 1 - 2	en 3 - 4
Model II	kanalen 5 - 6	en 7 - 8
Model III	kanalen 9 - 10	en 11 - 12

Bij het bouwen van een 8- of 12-kanalenzender en -ontvanger houdt men er dus rekening mee, dat splitsing in 2 of 3 groepen mogelijk is door de kanalen op 2 of 3 losse montageplaatjes te monteren. De flexibiliteit van de apparatuur wordt erdoor vergroot.

REIKWIJDTE

De energie die door de zendantenne wordt uitgestraald verspreidt zich in alle richtingen de ruimte in. Eenvoudigheidshalve stellen we ons voor dat dit gebeurt volgens een steeds groter wordende bol, hoewel in feite de uitstraling in de lengterichting van de antenne veel geringer is dan in de richting loodrecht erop. Stelt men nu op een afstand van een paar honderd meter een ontvangantenne op, dan zal de hoeveelheid energie die door deze antenne uit de grote bol met een straal van een paar honderd meter wordt opgevangen zeer gering zijn. Er blijft van de hoeveelheid zendenergie slechts een minuskuul deeltje in de ontvangantenne "hangen". Nu bepaalt de gevoeligheid van de ontvanger hoe groot we de afstand tot de zender kunnen maken voordat de ontvangen energie te gering geworden is voor een duidelijke ontvangst. Bij gevoelige ontvangers ligt de grens in de buurt van 10^{-12} watt. Zou men met 0,1 W zendenergie uitstralen, dan zou het nuttig effect van de energie-overdracht zijn:

$$10^{-12}/10^{-1} = 10^{-11}.$$

De ontvanger heeft nu tot taak dit onbeduidende beetje energie zodanig te versterken, dat we er wat mee kunnen doen.

Om de gewenste mechanismen in werking te stellen is meestal een energie nodig van minstens een watt, zodat we kunnen concluderen dat de ontvanger in staat moet zijn om de 10^{-12} W op te voeren tot 1 W, dus een vermogensversterking van 10^{+12} keer hetgeen ruwweg neerkomt op een spanningsversterking van ongeveer 10^6 .

Veldsterkte

Wanneer we over de veldsterkte van een zender praten bedoelen we altijd de

sterkte van het elektrische veld. De elektrische krachtlijnen lopen ongeveer evenwijdig met de antennestaaf van de zender en als deze vertikaal staat zullen de krachtlijnen ook loodrecht op het aardoppervlak staan. Men zegt dan dat het veld vertikaal is gepolariseerd. Worden in een elektrisch veld 2 metalen bollen loodrecht boven elkaar geplaatst op een meter afstand van elkaar, dan zullen deze een spanningsverschil t.o.v. elkaar aannemen. Deze spanning V is een maat voor de sterkte van het elektrische veld ter plaatse van de bollen, en wel

$$E = \frac{V}{a} \quad \text{V/m} \quad (1)$$

waarin: V/m = de eenheid van veldsterkte

a = afstand tussen de bollen in m.

V = spanningsverschil tussen de bollen in volt.

Van een zender met vertikale zendantenne, de z.g. Marconi-antenne, met een uitgestraald vermogen van P_t watt, kan men de veldsterkte wiskundig berekenen:

$$E = \frac{\sqrt{90 P_t}}{r} \quad (2)$$

waarin: E = veldsterkte in V/m

P_t = het uitgestraalde zendervermogen in W.

r = afstand tot de zendantenne in m.

Het uitgestraalde zendervermogen P_t (Power transmitter) is het vermogen dat werkelijk de lucht in gaat. Dus niet het vermogen dat aan de antenne wordt toegevoerd. Het kan best zijn dat het laatste 10 x groter is dan het uitgestraalde vermogen omdat het nuttig effect van de zendantenne bij dit soort zendertjes zeer gering is, 5 à 20% (zie deel I).

De formule geldt alleen onder ideale omstandigheden, waarbij de antenne op een goed spiegelend aardoppervlak is opgesteld, dat de radiogolven voor 100% weerkaatst. Alleen het zeewater, dat de elektrische stroom vrij goed geleidt, is met een ideaal spiegelend oppervlak te vergelijken. Alle andere bodemgesteldheden absorberen en verstrooien min of meer de radiogolf en verzwakken

het veld. We zullen daarom een correctiefactor α in rekening brengen, die in tabel I staat aangegeven als percentage van het ideale geval. Vooral zanderige bodem, dorpen en steden werken ongunstig.

TABEL I

Correctiefactor voor diverse bodemgesteldheden

<u>Terrein</u>	<u>Percentage t.o.v. ideale omstandigheden</u>
Ideaal terrein	100 %
Zeewater	92 %
Zoetwater	70 %
Vochtige bodem	56 %
Bodem met gemiddeld vochtgehalte	27 %
Droge bodem	5,5%
Steden	1 a 4%

De formule wordt dan:

$$E = \frac{\sqrt{90 P_t}}{r} \alpha \quad (3)$$

Wanneer we de veldsterkte voor vliegtuigen willen berekenen die zich op enkele tientallen meters boven het aardoppervlak bevinden, heeft de bodem niet zoveel invloed, maar dan treedt er een andere complicatie op die ontstaat door het verschil in weglengte tussen de direkte en de teruggekaatste golf (fig. 1). Ze zullen min of meer in tegenfase bij de ontvangantenne aankomen en elkaar verzwakken in plaats van versterken. Dit hangt af van de hoogte van zend- en ontvangantenne, van de afstand en van de golflengte. Rekent men dit uit, dan komt men, na een aantal vereenvoudigingen, tot de correctiefactor

$$\frac{4 \pi h_t h_r}{\lambda r} \quad (4)$$

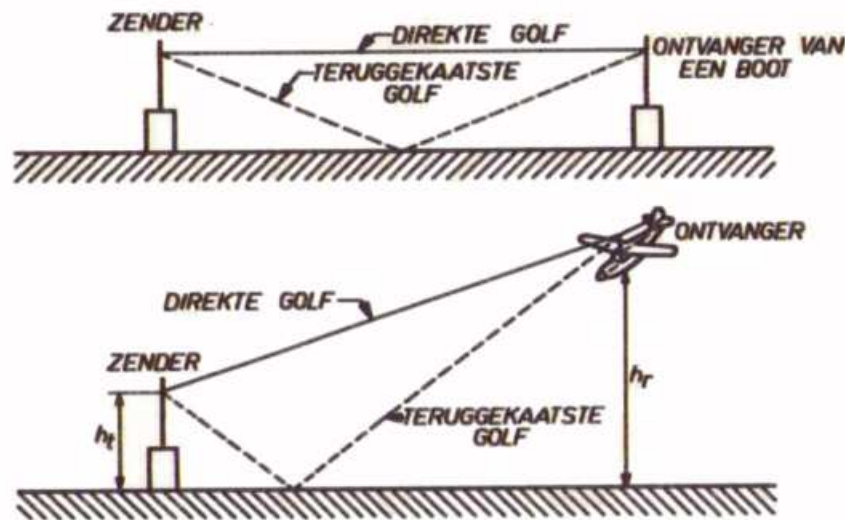


Fig. 1 Direkte en indirecte radiogolf

zodat de formule wordt:

$$E = \frac{\sqrt{90 P_t}}{r} \cdot \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda r} = \frac{119 \sqrt{P_t} \cdot h_t h_r}{r^2 \lambda} \quad (5)$$

waarin: E = veldsterkte in V/m

h_t = hoogte zendantenne in m (t = transmitter)

h_r = hoogte ontvangantenne in m (r = receiver)

λ = golflengte in m

r = afstand zender - ontvanger in m

P_t = het vermogen, dat werkelijk door de zendantenne wordt uitge-
straald in W

Deze formule kan men alleen met beperkingen gebruiken, n.l. wanneer h_t en h_r klein zijn ten opzichte van r . Ook dan nog is hij niet waterdicht, omdat de sterkte en de faze van de teruggekaatste golf sterk afhangt van de bodemgesteldheid. De uitkomst geeft ons hoogstens een indruk van de te verwachten veldsterkte.

Vereiste veldsterkte

De veldsterkte, die we op de plaats van de ontvangantenne van het model nodig

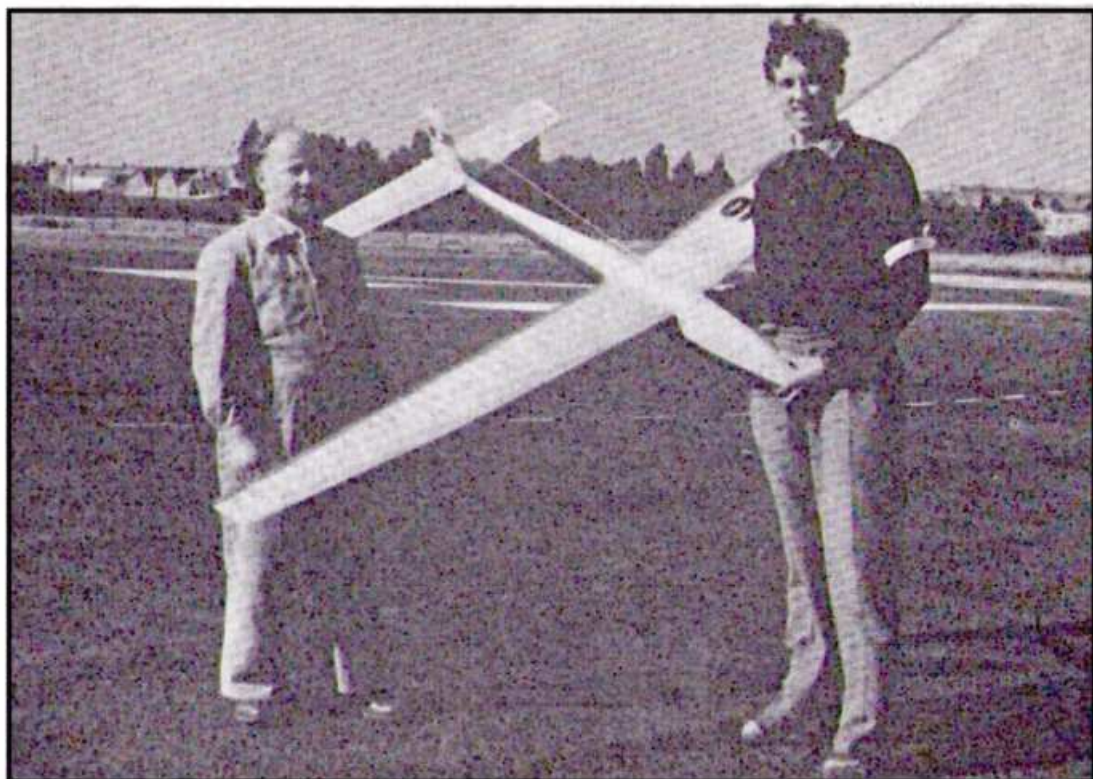


Foto 1. Zweefvliegtuig met een spanwijdte van ongeveer 3 m. De ontvangantenne loopt van de cockpit naar het hoogste punt van de staart. Het vliegtuig wordt bestuurd door een zender met een frequentie van 27,125 MHz (witte band) en met vier toonkanalen: links-rechts en hoog-laag (foto KNVVL).

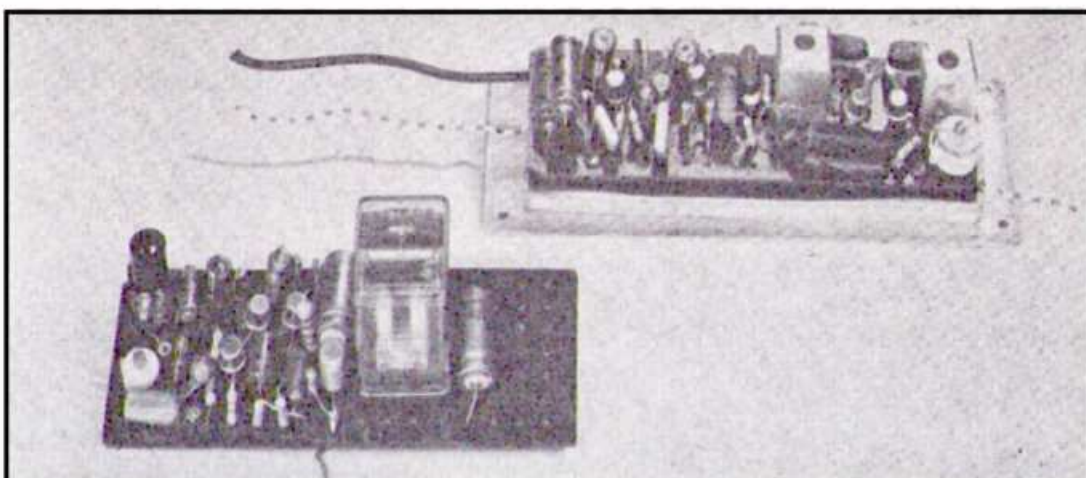


Foto 2. Onder: de diode-ontvanger van fig. 5, boven: de rechtuitontvanger van fig. 7.

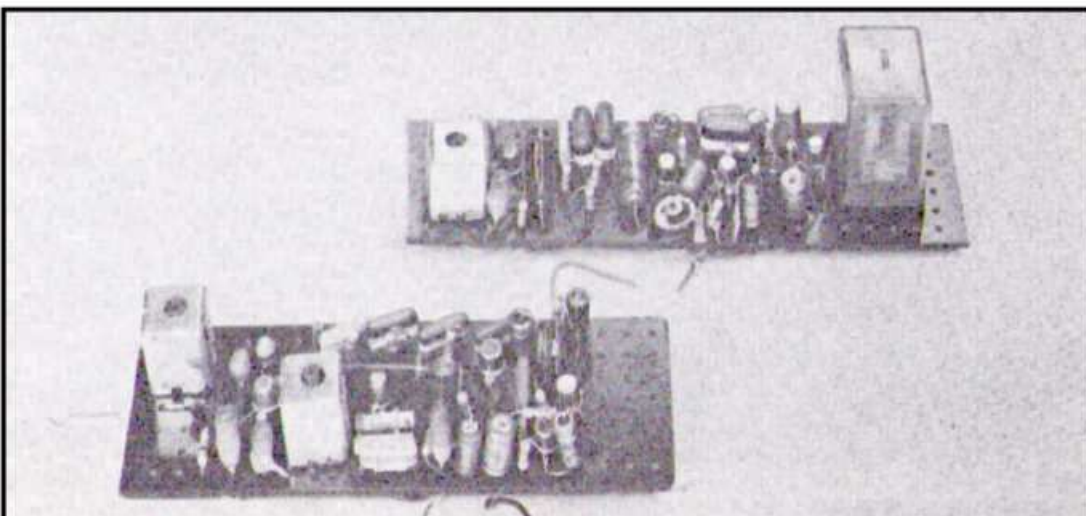


Foto 3. Boven: superregeneratieve ontvanger met relaisuitgang volgens fig. 37. Het relais trekt aan als de draaggolf wordt gemoduleerd (éénkanaalontvanger). Onder: superregeneratieve ontvanger met hoogfrequentvoortrap (fig. 12).

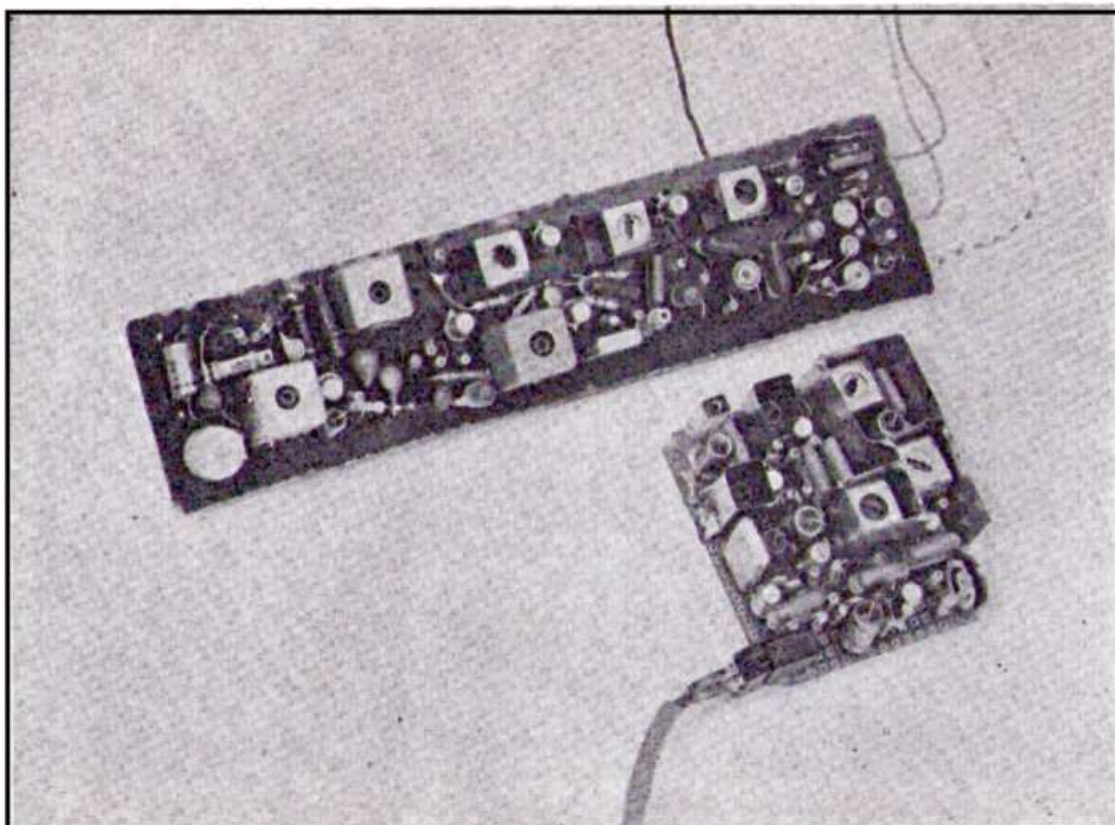


Foto 4. Twee superheterodyne-ontvangers volgens fig. 15. De miniatuuruitvoering (afmetingen $5 \times 4\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$ cm) bleek afscherming nodig te hebben tussen de middenfrequent-trappen om genereermeigingen te onderdrukken.

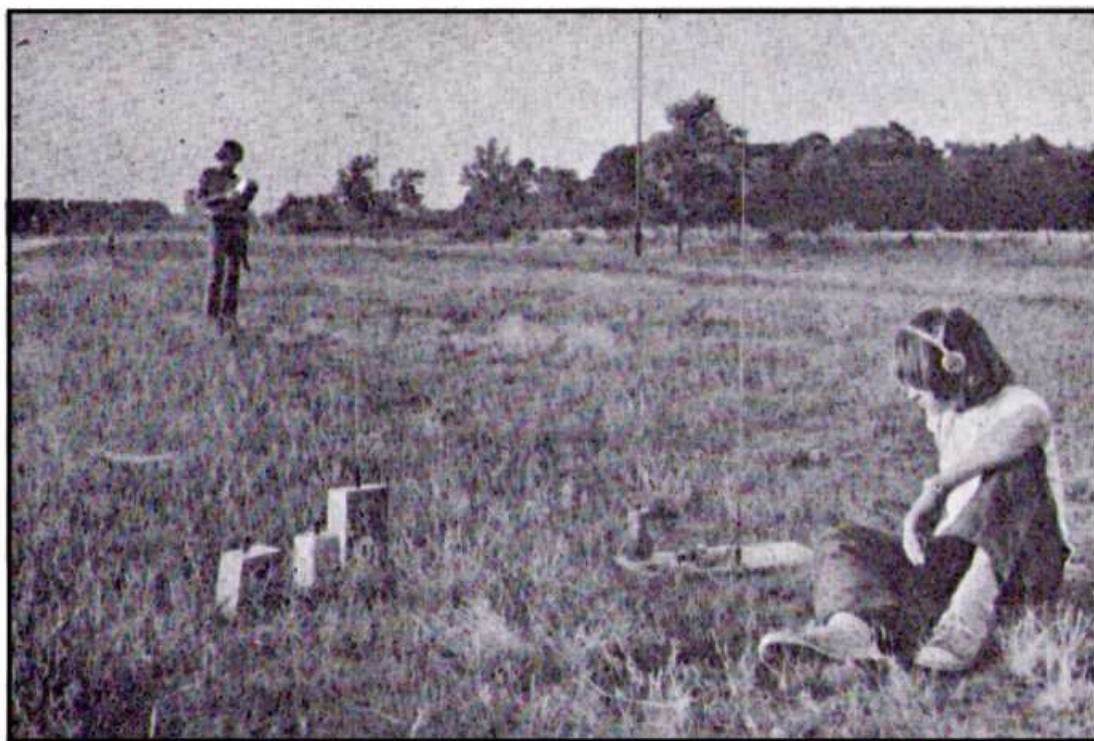


Foto 5. Meting van de reikwijdte der diverse ontvangers met twee verschillende ontvang-antennes en bij verschillende zendvermogens.

hebben om van een betrouwbare signaaloverdracht verzekerd te zijn, is afhankelijk van de volgende factoren:

- a. effectieve hoogte van de ontvangantenne.
- b. gevoeligheid van de ontvanger.
- c. stoorbronnen in de omgeving.

De ontvangantenne zet de binnenkomende radiogolf om in een elektrische spanning. Hoe groot deze spanning is hangt af van het type ontvangantenne, van de golflengte en van de veldsterkte.

Neemt men in plaats van de bollen uit formule (1) een antenne die op een ontvanger is aangesloten dan verandert deze formule in:

$$V = E \frac{h_{\text{eff}}}{2} \quad (6)$$

waarin: V = antennespanning in volt

E = veldsterkte in V/m

h_{eff} = effectieve hoogte in m

h_{eff} kan men vergelijken met de afstand a tussen de bollen en is afhankelijk van het type antenne. De 2 in de noemer is afkomstig van het feit dat de antenne een zekere inwendige weerstand heeft waardoor de helft van de spanning verloren gaat als hij met de ontvanger wordt verbonden. Als hij tenminste optimaal is aangepast, anders gaat er meer verloren.

De effectieve hoogte voor de belangrijkste antennetypes is weergegeven in figuur 2. De eerste antenne heeft, behalve een grote effectieve hoogte, ook nog een groot nuttig effect omdat hij is afgestemd op de golflengte van 11 m. Men kan aannemen dat het nuttig effect ongeveer 50% is. De andere niet afgestemde antennes hebben een geringer nuttig effect, dat ligt tussen 10 en 20%. Meestal hebben we met deze laatste antennes te maken omdat de eerste te lang is. Alleen voor grote boten zou deze kunnen worden gebruikt, maar voor kleine modellen en voor vliegtuigen is men aangewezen op één van de andere. Voor de berekening van de vereiste veldsterkte moeten we nog een veiligheidsfactor in rekening brengen, die nodig is omdat elke antenne enigszins richtinggevoe-

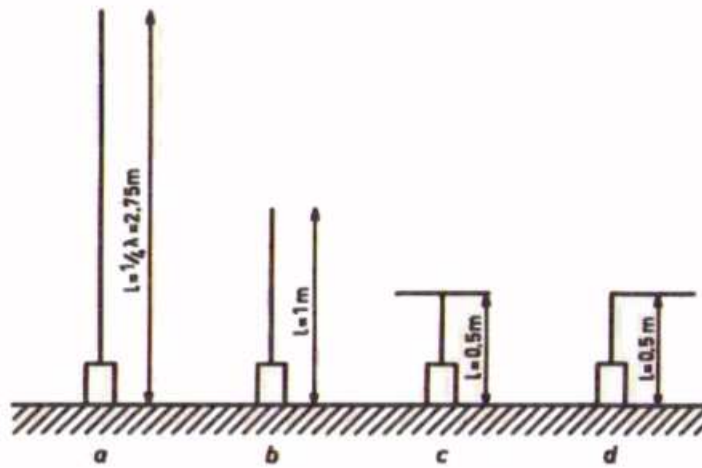


Fig. 2 h_{eff} voor diverse ontvangantennes

a: $\frac{1}{4}\lambda$ antenne, $h_{\text{eff}} = 2\ell/\pi = 1,75 \text{ m}$

b: verticale staafantenne, $h_{\text{eff}} = \frac{1}{2}\ell = 0,5 \text{ m}$

c: T-antenne, $h_{\text{eff}} = 4/5\ell = 0,4 \text{ m}$

d: L-antenne, $h_{\text{eff}} = 7/10\ell = 0,35 \text{ m}$

lig is, (vooral bij vliegtuigen speelt dit een rol) en omdat we boven eventuele storingen willen uitkomen. Men neemt hiervoor meestal een faktor 10.

Aan de hand van boven vermelde gegevens kunnen we nu de vereiste veldsterkte uitrekenen als we de ontvanggevoeligheid aannemen op $5 \mu\text{V}$. Metingen wijzen uit, dat de gevoeligheid van een goede ontvanger kan liggen tussen 1 en $10 \mu\text{V}$ en dat $5 \mu\text{V}$ een veel voorkomende waarde is.

Voor de antenne van figuur 2c berekenen we een minimum veldsterkte van

$$E = \frac{2V}{h_{\text{eff}}} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{0,4} = 25 \cdot 10^{-6} \text{ V/m} = 25 \mu\text{V/m}$$

Voor onze ontvangantenne moeten we de correctiefactoren in rekening brengen:

a. nuttig effect 10%

b. veiligheidsfaktor 10

Dan wordt de minimum veldsterkte:

$$10 \cdot 10 \cdot 25 = 2500 \mu\text{V/m} = 2,5 \text{ mV/m}$$

Uit deze vereiste veldsterkte en de veldsterkte die de zender op een bepaalde afstand opwekt is de reikwijdte te bepalen.

Bepaling van de reikwijdte voor een vliegtuig

We stellen ons voor dat de zendantenne zich op ongeveer 2 m hoogte bevindt en dat ons vliegtuigje op een hoogte van 50 m vliegt. De zender levert een hoogfrequent vermogen van b.v. 100 mW en straalt daarvan 20 mW werkelijk uit (tengevolge van het rendement van de zendantenne).

De golflengte is 11 m (27 MHz). De reikwijdte wordt dan berekend uit de formule (5) voor de veldsterkte:

$$r^2 = \frac{119\sqrt{P_t} h_t h_r}{\lambda E}$$

Voor E vullen we een minimum benodigde veldsterkte in van 2,5 mV/m

$$r^2 = \frac{119\sqrt{0,02} \cdot 2 \cdot 50}{11 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}}$$

$$r \simeq 250 \text{ m.}$$

Bepaling van de reikwijdte voor een boot

De zender geeft een vermogen van 100 mW aan de antenne. We gebruiken een staafantenne, die een nuttig effect heeft van 5%, zodat er maar 5 mW werkelijk wordt uitgestraald. De boot vaart in zoet water, waarvan de absorptiefactor 70% bedraagt. De ontvanger in de boot reageert nog betrouwbaar bij een minimum veldsterkte van 2,5 mV/m. Volgens de formule (2) is dan

$$E = \frac{\sqrt{90P_t}}{r} \cdot \alpha \quad \text{of} \quad 2,5 \cdot 10^{-3} = \frac{\sqrt{90 \cdot 5 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,7}{r}$$

$$r \simeq 200 \text{ m}$$

Uit deze berekeningen blijkt dat de reikwijdte in eerste instantie afhangt van de gevoeligheid van de ontvanger. De sterkte van de zender heeft niet zoveel effect als men zou verwachten. Volgens het ideale geval gaat het evenredig met de wortel uit het vermogen, maar zoals het eerste rekenvoorbeeld aantoonde, gaat het meer met de vierdemachtswortel. Meestal ligt de waarheid ergens midden tussenin. Opvoeren van de ontvangergevoeligheid heeft dus meer resultaat zolang het stoorniveau niet gaat overheersen. Verder kost het opvoeren

van de ontvangergevoeligheid vrijwel geen extra vermogen, terwijl dit bij het opvoeren van het zendervermogen wel het geval is.

Voor een grote reikwijdte is het gebruik van goede antennes, zowel aan zender- als aan ontvangerzijde, een eerste vereiste. Overigens moet men niet al te veel waarde hechten aan een grote reikwijdte, omdat het model op grote afstand bijna niet meer is te volgen, althans niet meer met het blote oog. Men dient zich dan te wapenen met een verrekijker.

Bovenstaande berekeningen moet men wel met een dikke korrel zout nemen. Er zijn zoveel factoren die bij de voortplanting van radiogolven een rol spelen dat men niet kan verwachten dat dit met een paar eenvoudige formules is uit te rekenen. Hier komt heel wat meer voor kijken. We geven alleen deze voorbeelden om een indruk te geven van wat er zich ongeveer afspeelt.

De ontvangantenne

Voor het ontvangen van één zenderfrequentie, zoals dat bij ons het geval is, is een afgestemde antenne altijd aan te bevelen. De outputspanning van een dergelijke antenne is aanzienlijk veel meer dan van de niet-afgestemde antenne, terwijl hij ook al enige ruwe voorselectie voor zijn rekening neemt. De afmetingen zijn echter nogal groot: een verticale $\frac{1}{4} \lambda$ staafantenne is ongeveer 2,75 m lang. Op grote boten zou men hem wel kunnen toepassen, maar voor kleine modellen en voor vliegtuigen is hij absoluut onbruikbaar. Daarom is een gewone uitschuifbare staafantenne het meest geschikt, en hoe langer, hoe beter (zie blz. 50), of een horizontale draad (Foto 1).

Aangezien een radiogolf alleen spanningen kan opwekken tussen twee geleiders, is men genooddaakt een soort "aarde", ook wel "teggengewicht" genaamd, aan te brengen. Meestal doet het metalen huis van de ontvanger al enigszins dienst hiervoor, maar beter is het een extra draad aan te brengen die, zoals figuur 3 laat zien, door de vleugels loopt. Hoe groter de afstand is tussen deze

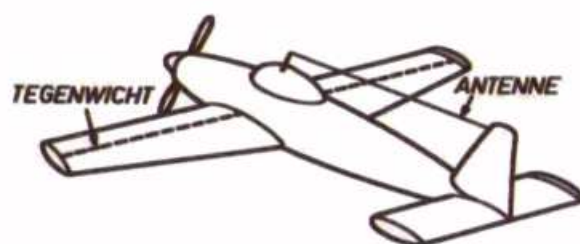


Fig. 3

aarddraad en de antennedraad, des te groter is de antennespanning (zie formule 1).

Vaak verbindt men nog allerlei andere metalen delen aan deze aarddraad. Daarmee moet men echter voorzichtig zijn, vooral wanneer het bewegende delen zijn, omdat de overgangsweerstanden in de draaipunten storingen kunnen veroorzaken. Men moet er zich goed van overtuigen, dat de antenne- en de aarddraad solide met de ontvanger zijn verbonden en niet kunnen lostrillen. Dus geen miniatuurstekers gebruiken, waarin de draden met schroefjes worden vastgeklemd. De antennedraad mag in geen geval vlak langs de motoren of hun toevoerleidingen lopen. Vooral de elektrische aandrijfmotoren kunnen hinderlijke vonkstoringen uitstralen, die het zendersignaal kunnen overstemmen. Ver weg daarvan! En de motoren ontstoren en eventueel met een metalen huis afschermen (hoofdstuk 10)!

Bij boten is het gewenst dat ook het water als tegenwicht meedoet. Een beter tegenwicht kan men zich niet voorstellen. Meestal brengt men een roestvrij metalen strip aan onder tegen de boot, of men gebruikt ook wel het roer hiervoor. Dan moet men echter wel de draaipunten overbruggen met een soepele draad om overgangsweerstanden te elimineren.

DETECTIE

De hoogfrequente wisselspanningen die door de antenne worden opgevangen, zijn in deze vorm onbruikbaar. Er is geen relais of telefoon die hierop reageert. We zijn genoodzaakt om met behulp van afgestemde kringen het gewenste zendersignaal te selekteren uit de miljoenen andere signalen en storingen die eveneens door de antenne worden opgevangen. Tevens zullen we moeten versterken om er een handelbare spanning van te maken om daarna met behulp van de detector de waardevolle informatie die in de draaggolf was opgeborgen, vrij te krijgen. Resten hoogfrequentspanningen moeten worden verwijderd, zodat een zo schoon mogelijk modulatiesignaal overblijft.

Verder wordt elk radiosignaal begeleid door een zekere hoeveelheid ruis. De ruis bezet het hele radiospectrum en is even sterk vertegenwoordigd bij 100 kHz als bij 100 MHz. Hij komt deels uit de atmosfeer en deels uit de ontvanger zelf. De eerste is een combinatie van natuurlijke ruis en de z.g. man-made noise. De natuurlijke ruis ontstaat door atmosferische storingen en komt voor een deel van onweders en voor een deel uit de kosmos terwijl de man-made noise ontstaat door vonkende motoren en schakelaars. Over het algemeen zal de ruis pas hinderlijk worden als de ontvanger een grote gevoeligheid heeft. Eigenlijk wordt de ontvangergevoeligheid door de ruis begrensd. Want bij het opvoeren van de gevoeligheid zal op zeker moment het gewenste signaal niet meer duidelijker worden doordat de ruis evenveel wordt mee versterkt en de signaal-ruisverhouding ongunstig wordt.

De ruis die in de ontvanger zelf wordt veroorzaakt is over het algemeen niet storend, omdat de andere soorten ruis sterker zijn (althans als we de superregeneratieve ontvanger buiten beschouwing laten). Wanneer de transistors goed staan ingesteld, bij voorkeur een collectorstroom van 1 à 2 mA, dan is het op-

timum bereikt wat betreft de ontvangerruis.

Zo is een ontvanger eigenlijk altijd aan het vechten tegen de ruis. Alleen de sterkte van onze zender kan hierin te hulp komen. Hoe sterker de zender hoe minder de ruis te vertellen krijgt.

Maar het geluk is met ons. De praktijk leert dat het zendervermogen van een paar tiende watts voldoende is om de ruismoeilijkheden te overwinnen. Zo'n zendertje is gemakkelijk met batterijen te voeden en draagbaar te maken; en daar is het tenslotte om begonnen. De ontvanger behoeft dan niet aan extreme voorwaarden te voldoen en we kunnen hem zonder veel moeite zelf bouwen.

Het detecteren van een draaggolf gaat als volgt in zijn werk (zie figuur 4): De hoogfrequente wisselspanning komt uit bron A en deze is via de diode D verbonden met parallelweerstand R_1 . De gelijkgerichte spanning achter de diode laadt de condensator C_1 op. Dit is te zien in figuur 4b, waarin de karakteristiek van de diode is getekend. Wanneer er geen modulatie is (deel tussen P en Q) zal de spanning over de diode die dan wordt samengesteld uit de span-

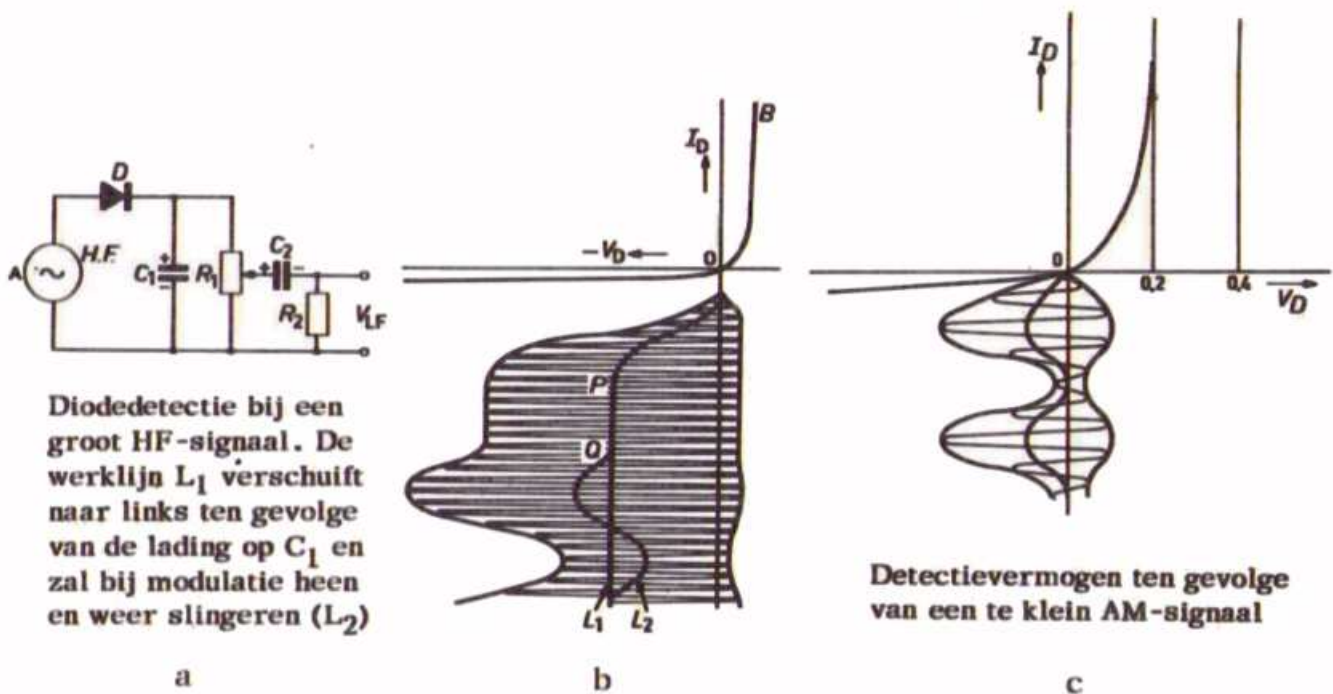


Fig. 4

ningen uit de bron A plus de gelijkspanning over C_1 , (ze staan n.l. in serie over de diode) zich naar links verschuiven. De rechter toppen komen als het ware tegen de lijn 0 B te liggen. De werklijn van de diode is de lijn L1. Bij modulatie van de hoogfrequent wisselspanning zal de lijn volgens L2 verlopen. Voor een maximaal detectierendement, dus om een zo groot mogelijke slinger van L2 te krijgen, moet R_1 zodanig gedimensioneerd zijn, dat de lading van C_1 snel genoeg kan wegvloeien om de modulatie te kunnen volgen. De lijn L2 stelt dan de spanning voor over de condensator C_1 en wordt verder via C_2 en R_2 naar de eerstvolgende transistoringang gevoerd. Daar de diodekarakteristiek in punt 0 gekromd is zal de detectiewerking bij zwakke signalen slecht zijn. Het sperren en doorlaten van de diode gaan daar geleidelijk in elkaar over, waardoor bij signalen, kleiner dan 0,1 V het detecteren steeds slechter gaat (fig. 4c). Van 0,1 V tot 0,2 V verbetert dit aanzienlijk, alhoewel het kwadratische verloop van de kromme daar ter plaatse nogal wat vervorming kan introduceren. Pas boven 0,2 V HF-wisselspanning kan men rekenen op een onvervormde detectie met hoog rendement.

Er is een zeer grote veldsterkte nodig om een wisselspanning van minstens 0,2 V over de diode te verkrijgen. Vandaar dat de ontvangers die direct het binnenkomende signaal detecteren - z.g. diode-ontvangers - zeer ongevoelig zijn en alleen op korte afstand van de zender kunnen worden gebruikt (zie tabel III op blz. 50).

Toepassingsgebieden zijn: goocheltrucs,
contrôle-ontvanger
veldsterktemeter.

Diode-ontvanger (foto 2)

Bij de diode-ontvanger wordt het antennesignaal door één enkele afgestemde kring gefilterd en meteen gedetecteerd. In figuur 5 is dit weergegeven. Daarna volgen meestal een paar trappen laagfrequentversterking (zie ook deel I).

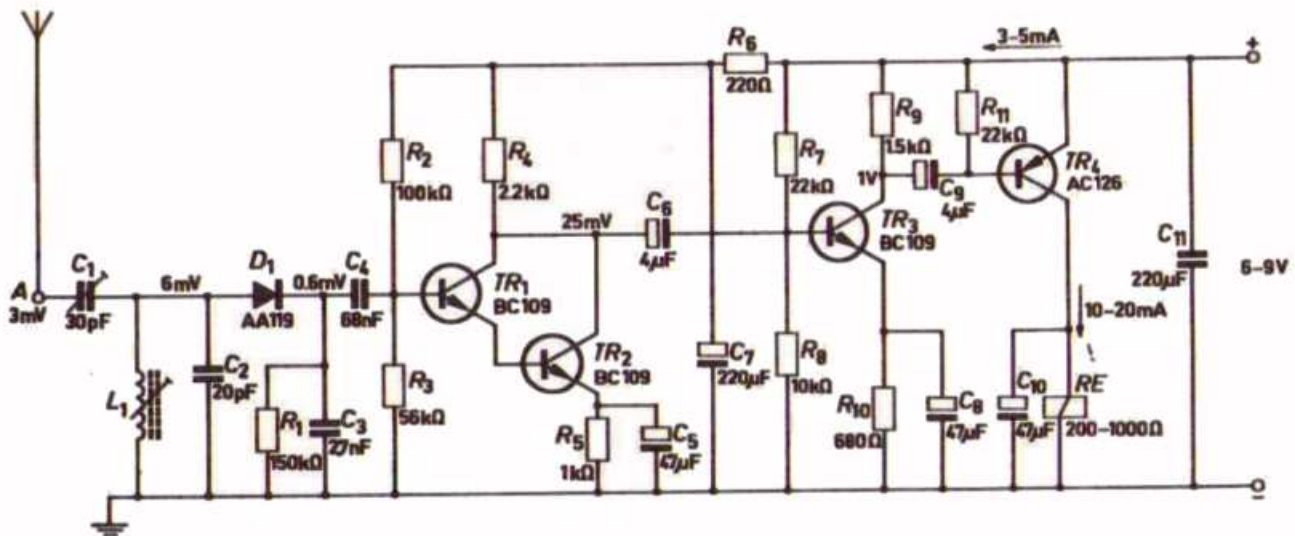


Fig. 5 Diode-ontvanger
 L₁: 15 wind., 0,3 mm draad
 Spoeldiameter 7 mm met verstelbare poederijzerkern

fig. 94). Om een zo groot mogelijk signaal aan de diodes toe te voeren zullen we trachten de opslinging in de kring zo groot mogelijk te maken. De demping moet dan gering zijn, dus de antenne losgekoppeld met een kleine condensator (C₁) en de ingangsimpedantie van de eerste transistor hoog. We hebben daarvoor een eenvoudige schakeling gekozen, bestaande uit 2 transistoren, TR₁ en TR₂, Darlington-pair genaamd. Deze schakeling is hoogohmig en versterkt vrij veel. Wanneer de kring uit een goede spoel L₁ en een verliesarme condensator C₂ (bij voorkeur een polysterene condensator) is samengesteld, dan kan men een opslinging van minstens 3 x verwachten.

Achter de kring zorgt diode D₁ voor de detectie waarna het laagfrequentsignaal eerst ongeveer 40 x door TR₁ en TR₂ wordt versterkt en dan nog eens 40 x door TR₃. Tenslotte wordt door TR₄ het laagfrequentsignaal gelijkgericht, zodat er versterkte stroompulsen in de collectorleiding ontstaan. Door elco C₁₀ worden deze afgevlakt en er ontstaat een gelijkstroom door relais R_E. Uit metingen bleek, dat er op de ingang bij punt A ongeveer 3 mV nodig was om het relais te doen aantrekken. Bij minder spanning gaat diode D₁ steeds slechter detecteren waardoor de gevoeligheid dan snel tot nul afneemt.

Men gebruikt voor D₁ bij voorkeur een germaniumdiode, b.v. AA119, omdat

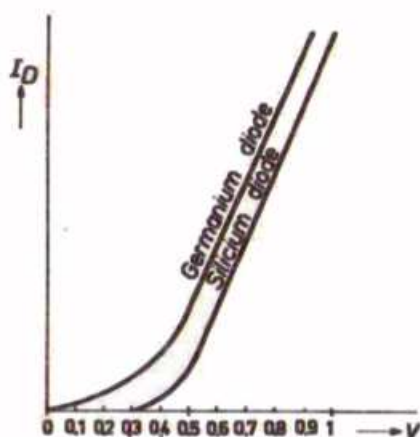


Fig. 6 De germaniumdiode begint bij een kleiner signaal te geleiden dan de siliciumdiode

voor deze het kromme deel van zijn karakteristiek dicht bij punt 0 ligt. Een siliciumdiode (zie fig. 6) is wat dat betreft ongunstiger. Wel zou men dan een voorspanning kunnen aanleggen, waardoor de werklijn naar het kromme deel van de karakteristiek verschuift, maar dit wordt toch zelden gedaan.

De selectiviteit van deze ontvanger is vanzelfsprekend zeer slecht, maar door de ongevoeligheid krijgen vreemde zenders weinig kans om voldoende signaal aan de detector af te leveren, zodat storingen praktisch niet voorkomen.

De gevoeligheid hangt een beetje af van de voedingsspanning. Bij 6 V is deze ongeveer 4 mV en bij 9 V 2 mV.

Het stroomverbruik is bij 6 V ongeveer 3 mA en bij 9 V ongeveer 5 mA. Als het relais is aangetrokken is de stroom 3 à 6 x groter, afhankelijk van de relaisweerstand (200 à 700 Ω).

De antenne is bij een dergelijk ontvanger zeer belangrijk. Hoe meer spanning deze opvangt hoe groter de reikwijdte. Uit praktijkproeven bleek dat men een 100 mW-zender, die met een toon van 1000 Hz voor 100% was gemoduleerd, de reikwijdte ongeveer 25 m was, als een antenne van 50 cm werd gebruikt. Bij gebruik van een antenne van b.v. 1,25 m werd de reikwijdte ongeveer 40 m (zie blz. 50).

Rechtuitontvanger (foto 2)

De gevoeligheid van de diode-ontvanger kan worden vergroot door het antennesignaal eerst te versterken. De diode krijgt dan meer signaal toegevoerd, hetgeen het detectierendement en de kwaliteit ten goede komt. We zullen een ontvanger beschrijven met één-trap-hoogfrequentversterking, een z.g. rechtuitontvanger. Het feit, dat we het binnenkomende signaal versterken vóór de detector, zonder eerst over te gaan op een andere frequentie (rechtuit) geeft nogal eens moeilijkheden, omdat de kans op terugkoppeling bij deze hoge frequenties groot is en dit tot genereren aanleiding kan geven. Vroeger, bij de buizenontvangers, was dit probleem nog ernstiger omdat de afmetingen van de buizen en de spoelen veel groter waren dan die van onze tegenwoordige transistors en spoelen, waardoor terugstraling op de antenne-ingang moeilijker was te voorkomen. Maar ook met transistors kunnen we ons maar het beste beperken tot 1-trap-hoogfrequentversterking, omdat 2 trappen zeer moeilijk stabiel te krijgen zijn.

In figuur 7 is het schema van de ontvanger gegeven. Het antennesignaal wordt door de antennekring L_1 C_2 gefilterd en door de opslingering ervan ongeveer 3 x versterkt. De hoogfrequenttrap bestaat uit 2 transistors die volgens een "Darlington pair" geschakeld zijn. Het signaal wordt daarin ongeveer 5 x ver-

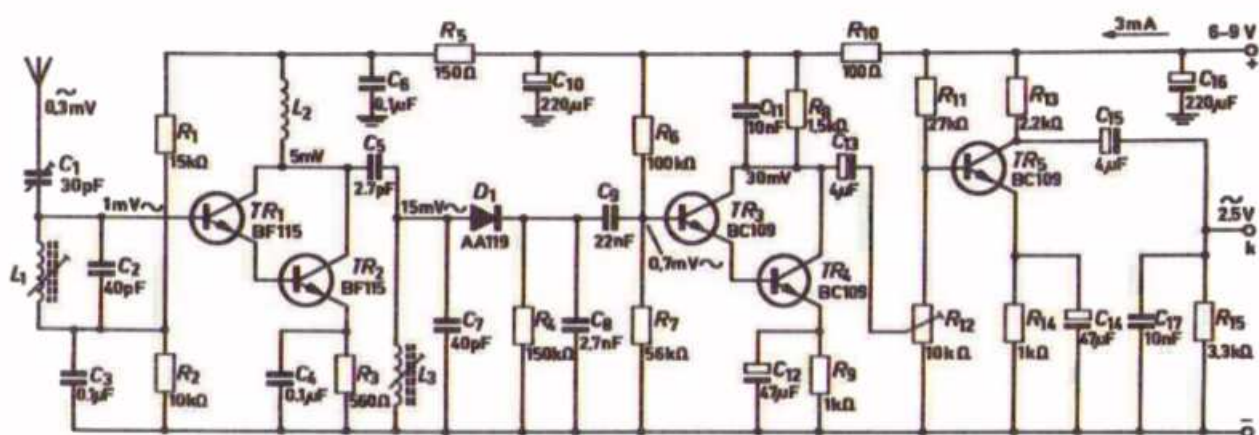


Fig. 7 Rechtuit-ontvanger

$L_1=L_3$: 15 wind., 0,3 mm emaille draad

spoeldiameter 4 mm, instelbare poederijzerkern

L_2 : HF-smoorspoel, 50 wind., 0,1 mm emaille draad, spoeldiam. 6 mm

sterkt. De demping op de ingangskring is zeer gering vanwege de hoge ingangs-impedantie van deze versterkertrap, zodat de opslinging en de selectiviteit bijna niet worden aangetast.

In de collectorleiding van TR1 en TR2 is een hoogfrequent smoorspoel L2 opgenomen, waarover het versterkte hoogfrequentsignaal staat. Vanaf de collector wordt het signaal via een kleine condensator C5 naar de 2^e kring L3 C7 gevoerd die ook door opslinging het signaal nog eens ongeveer 3 x versterkt, waarna het door de diode D1 wordt gedetecteerd. In totaal wordt er ongeveer $3 \times 5 \times 3 = 45 \times$ hoogfrequent versterkt. Achter de detector wordt evenals in de diode-ontvanger een "Darlington pair" toegepast om de demping op de kring L3 C7 klein te houden. Het gedetecteerde signaal wordt eerst door TR3 en TR4 ongeveer 40 x versterkt, daarna door TR5 nog eens 80 x. Dit geeft een totale versterking van ongeveer 120.000 keer. Bij zeer zwakke signalen zal de detector ons echter in de steek laten, want dan daalt zijn detectierendement aanzienlijk. Het blijkt n.l. dat de ingangsgevoeligheid bij punt A ongeveer 0,3 mV bedraagt om 2 V op de uitgang te krijgen. D.w.z. dat de totale versterking dan slechts 6000 x blijkt te zijn en dat er dus in de detector een verzwakking optreedt van ongeveer 20 x. Bij grote signalen is het detectierendement veel beter en kan bijna 100% worden. D.w.z. dat bij een draaggolf, die voor 100% is gemoduleerd de amplitude van het laagfrequentsignaal achter de detector even groot is als de gemiddelde amplitude van het hoogfrequentsignaal vóór de detector (zie deel I, fig.69). Het zou beter zijn als het andersom was: bij kleine signalen hoog detectierendement en bij grote signalen klein, maar dat is nu eenmaal niet zo. En dus zijn we bij dit type ontvangers beperkt in de gevoeligheid.

Bij sterke signalen loopt de laagfrequentversterker vast en de sinussen worden afgeplat. Dit geeft ons een soort automatische volumeregeling, die weliswaar gepaard gaat met veel vervorming maar toch wel goed bruikbaar is voor simpele besturingssystemen. Het enige wat kan gebeuren is dat de 3e harmonische sterk aanwezig zal zijn, maar bij volkomen afplatting (vierkantsgolf)

kan de amplitude ervan hoogstens $1/3$ van die van de grondgolf worden. De filters die de tonen moeten selecteren zullen hierop niet reageren als ze goed zijn afgeregeld.

Conclusie: De eenvoud en de overzichtelijkheid van deze ontvangers zijn wel zeer aantrekkelijk. De gevoeligheid is niet erg groot, zoals we zagen, ongeveer $0,3 \text{ mV}$, maar bij toepassing van een gewone antenne en een sterke zender kan een reikwijdte van 150 m worden gehaald en met een antenne van $1,25 \text{ m}$ ongeveer 250 m (blz. 50). De selectiviteit is met 2 hoogfrequentkringen niet zo best. Men kan zeker niet met meerdere modellen tegelijk werken, want de hele citizensband en zelfs daarbuiten wordt opgevangen. Maar voor solowerk is dat geen bezwaar. We raden dan ook aan om alleen boten, auto's e.d. hiermee uit te rusten. Voor vliegtuigen lijkt ons één van de volgende typen ontvangers beter geschikt.

DE SUPERREGENERATIEVE ONTVANGER

Er is in de geschiedenis van de radiotechniek geen ontvangertype geweest waar zoveel aandacht aan is besteed als aan de superregeneratieve ontvanger. In 1922 verscheen de eerste publikatie door de uitvinder E.N. Armstrong: maar hij schreef toen zelf al, dat zijn ontvanger berustte op een vroegere vinding van L.B. Turner. Pas in de jaren 1930 begon deze ontvanger meer aandacht te krijgen omdat vooral de amateurs er toe werden aangetrokken door zijn eenvoud en zijn grote gevoeligheid. Er zijn zeer veel experimenten aan verricht om de bezwaren die er aan kleefden te overwinnen, maar na verloop van tijd bleek wel, dat deze onvolkomenheden (veel ruis, slechte selectiviteit) nu eenmaal onafscheidelijk aan deze ontvanger waren verbonden, en dat men dit maar moest accepteren. Zijn toepassingsgebied ligt dan ~~daar~~ daar, waar kwaliteit en selectiviteit niet belangrijk zijn maar waar lage prijs en kleine afmetingen gewenst zijn. Vandaar dat de amateur deze ontvanger graag toepast in zijn afstand-bestuurde modellen. Het is echter verstandig om alleen die modellen, die een speelgoedachtig karakter dragen er mee uit te rusten, zoals eenvoudige bootjes en auto's; voor kostbaardere modellen zoals vliegtuigen, waaraan veel geld en moeite is besteed, is het aanbevelenswaardig een wat professioneler type ontvanger te gebruiken, n.l. de super heterodyne, waarop we in hoofdstuk 5 uitvoerig zullen terugkomen.

De eenvoudigste superregeneratieve ontvanger bevat één transistor, die vier verschillende functies tegelijk voor zijn rekening moet nemen, n.l.

1. grote versterking
2. detectie
3. selectie
4. automatische volumeregeling

Het is begrijpelijk, dat dit niet allemaal evengoed tot zijn recht komt en dat we schoonheidsfoutjes zullen vinden. De selectiviteit is immers niet best en de detectie introduceert enige vervorming, vooral omdat een sterke ongewenste trilling van ongeveer 60 kHz het gedetecteerde signaal begeleidt.

Ook vertoont de ontvanger een sterke ruis als er geen of een zwak zendersignaal wordt ontvangen.

Een bezwaar van geheel andere aard is het feit dat de ontvanger zelf enigszins als zendertje werkt en een weliswaar zwak maar zeer onsympatiek signaal uitstraalt; dit kan funest zijn voor andere ontvangers in de omgeving. Maar ondanks deze bijverschijnselen blijft het voor modelbesturing een gewild ontvangertype.

Het woord superregeneratieve ontvanger is als volgt ontstaan:

Een superregeneratieve ontvanger is eigenlijk een generator die door het in- en uitgenereren slaan, met twee frequenties tegelijk trilt, van daar dat we spreken over regeneratief. Verder wordt de modulatie van de binnenkomende draaggolf overgedragen, gesuperponeerd op de z.g. quenchfrequentie. Vandaar het voorvoegsel super.

Er bestaan verschillende soorten superregeneratieve ontvangers. De twee bekendste typen zijn:

1. met zelfonderdrukking; de z.g. self-quenching superregeneratieve ontvangers
2. die met aparte quenchoscillator.

De tweede heeft voor ons weinig voordelen ten opzichte van de eerste. Hij is wat stabiel en heeft wat minder vervorming, maar dat is niet belangrijk genoeg om er de extra moeite en kosten voor over te hebben. We zullen daarom uitsluitend de eerste verder uitwerken. Daarvan geven we twee versies, n.l. de één met en de ander zonder hoogfrequent voortrap.

Werking van de self-quenching superregeneratieve ontvanger

De superregeneratieve ontvanger wordt gekarakteriseerd door zijn herhaalde-

lijk opbouwen en afsterven van zelfoscillaties in een oscillator met een frequentie gelijk aan of vlak bij de signaalfrequentie (in ons geval 27 MHz). De oscillator moet afwisselend genereren en niet genereren. Daarom is een voorziening nodig die een extra wisselspanning opwekt om de versterking van de transistor afwisselend groter en kleiner dan één te maken. Dit kan gebeuren met behulp van een aparte oscillator of eenvoudig door de oscillator foutief in te stellen, waardoor overoscillatie optreedt. Dit laatste gebeurt - zoals we zagen in hoofdstuk 4 van deel I - als de waarden van de begrenzsweerstand en de daarbij behorende ont-koppelcondensator in de emitterleiding te groot zijn. Of, wat op hetzelfde neer komt, een hoge basisweerstand R_1 en een grote koppelcondensator C_4 (fig. 8).

De frequentie van deze wisselspanning, ook wel quench-frequentie genoemd, moet een eind lager liggen dan de oscillatorfrequentie, omdat het voor de goede werking noodzakelijk is dat het genereren werkelijk volkomen stopt en de trillingskring de tijd heeft om uit te slingeren. De keuze van de quench-frequentie is daardoor beperkt, omdat voor het uitsterven gerekend moet worden op 100 a

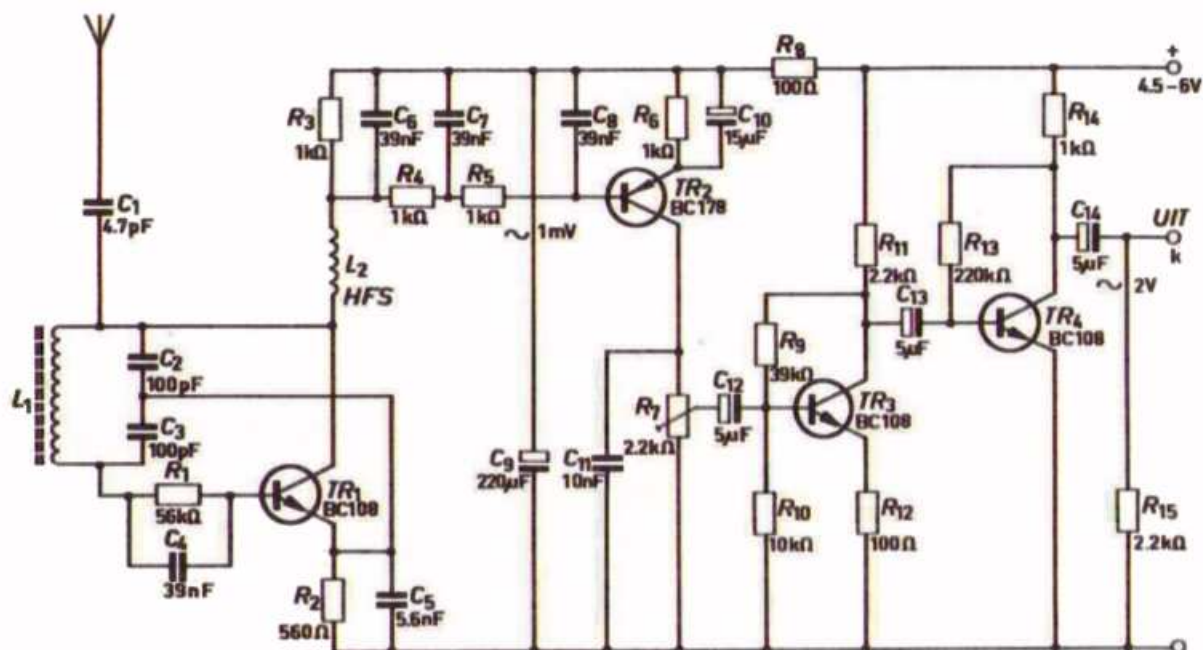


Fig. 8 Superregeneratieve ontvanger

L_1 = 15 wind., 0,25 mm emaille draad

spoeldiameter 4 mm met instelbare poederijzerkern

L_2 = HF-smoorspoel, 50 wind., 0,1 mm emaille draad, spoeldiameter 6 mm

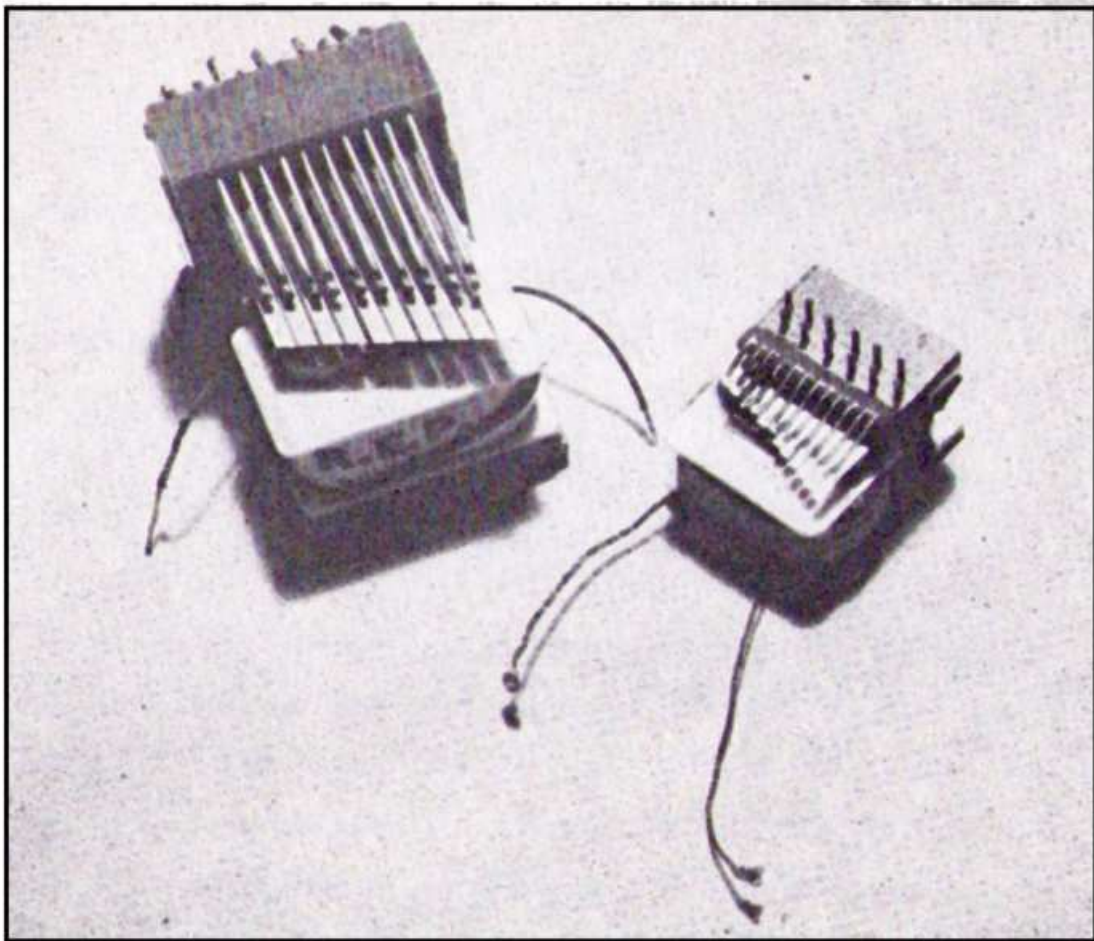


Foto 6. Reedrelais. Links: een tienkanalenrelais, fabrikaat R.E.P. Rechts: een twaalfkanalenrelais, fabrikaat „eigenbouw”.

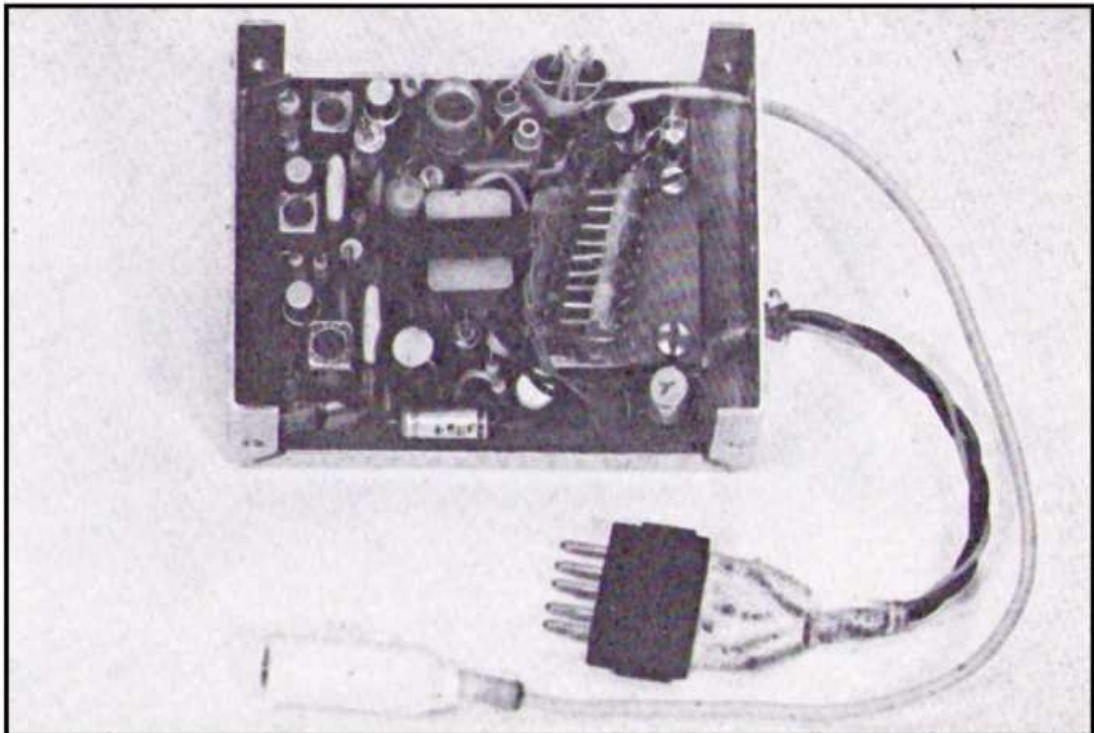


Foto 7. Complete superheterodyne-ontvanger met tienkanalenrelais. Totale afmetingen $7 \times 5 \times 2\frac{1}{2}$ cm.

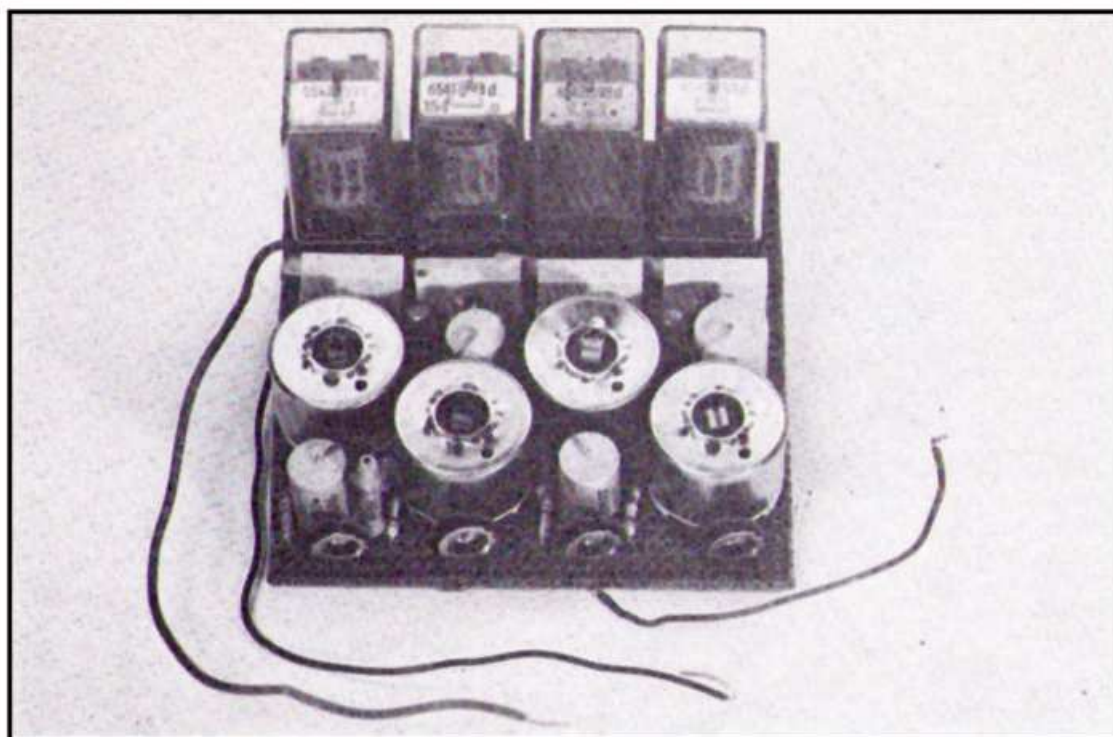


Foto 8. Schakelunit met relais voor mechanisch en elektrisch niet-neutraliserende servo's volgens schema 26.

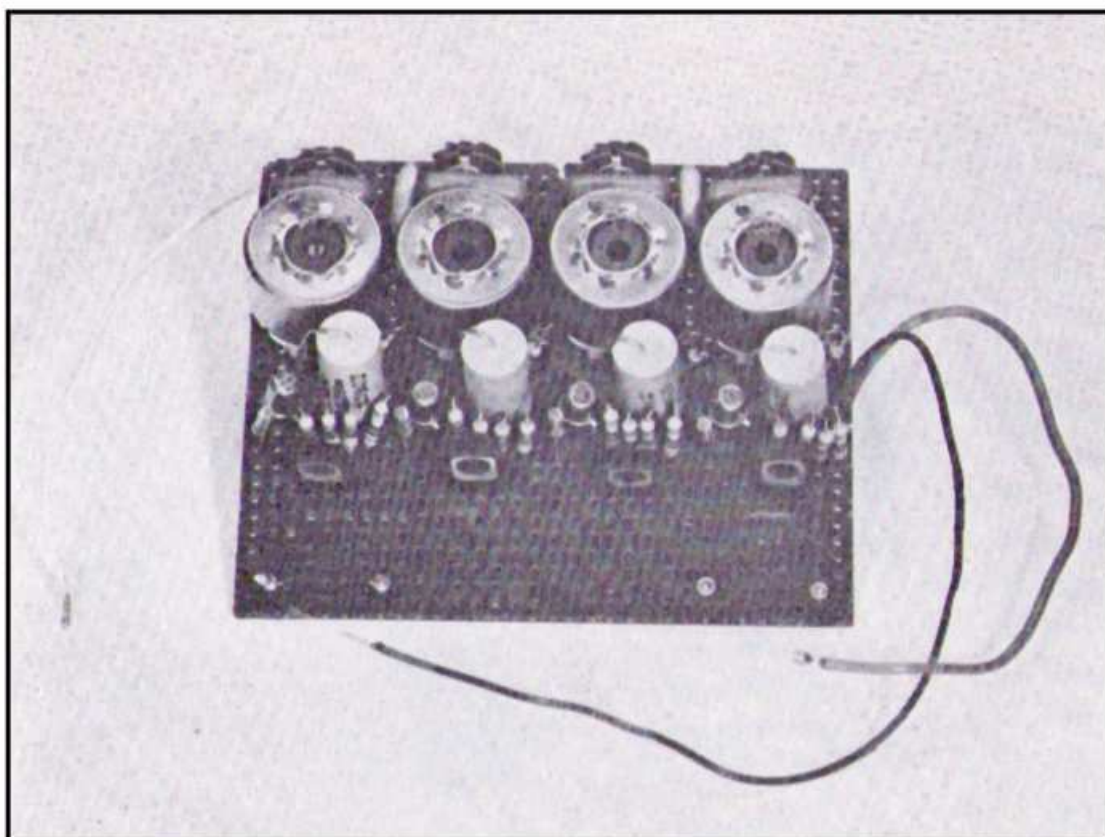


Foto 9. Vierkanalen getransistoriseerde schakelunit. Alleen bestemd voor mechanisch niet-neutraliserende servo's (fig. 27).

1000 slingeringen van de hoogfrequentkring. Voor een 27 MHz ontvanger rekent men op een quench-frequentie van maximaal 60 kHz. Omgekeerd mag de quench-frequentie ook weer niet te laag zijn, omdat hij anders te veel in de buurt komt van de hoogste modulatiefrequentie van de binnenkomende draaggolf en het dan moeilijk wordt het gedetecteerde signaal door filters vrij te maken van de quench-frequentie. Daarom moet men de quench-frequentie minstens 5x hoger kiezen dan de hoogste modulatiefrequentie. Zenders met toonmodulatie tot 8000 Hz zouden dus een minimum quenchfrequentie van 40 kHz vergen. Het geluk werkt dus mee, want voor een 27 MHz-ontvanger is een quenchfrequentie die tussen de 40 en 80 kHz ligt in alle opzichten gunstig. Dit is ongeveer 1/500 van de draaggolf en ongeveer 7 x de hoogste modulatiefrequentie.

In figuur 8 zien we dat het in principe een collpitsoscillator is in geaarde emitterschakeling met een capacitieve aftakking op de kring voor de terugkoppeling. De waarden van de basisweerstand R_1 en koppelcondensator C_4 zijn evenals C_5 zodanig gekozen, dat overoscillatie optreedt in een frequentie van ongeveer 60 kHz. In het Engels wordt vaak de uitdrukking "squegging oscillator" = overoscillerende oscillator gebruikt. Aan de hand van figuur 9 zullen we nu verder duidelijk maken wat er precies gebeurt.

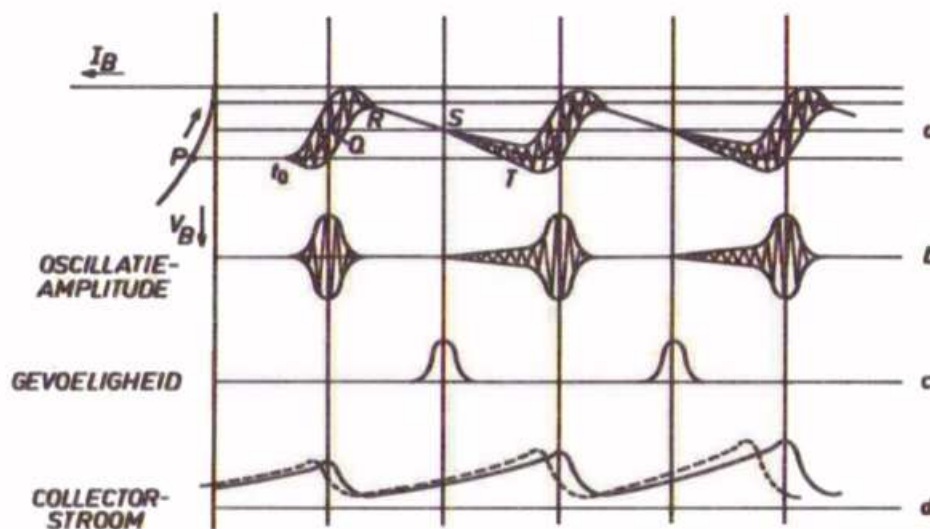


Fig. 9 a = verloop van basis-emitterspanning
b = HF-oscillaties
c = gevoeligheid van de ontvanger
d = emitter- of collectorstroom

Links boven is de $I_B - V_B$ -karakteristiek van de hoogfrequenttransistor getekend (TR1 in figuur 8). Zou men de spoel L van de oscillator kortsluiten, dan ontstaat er een rusttoestand, waarbij het werkpunt van de transistor in punt P ligt. Bij deze instelling is de versterking groot en zodra we de kortsluiting verbreken, (tijdstip t_0) zal oscillatie optreden die verloopt volgens figuur 9a. De amplitude neemt toe en er treedt een begrenzing op doordat er basisstroom gaat lopen. Door de gelijkrichtende werking van de diode, gevormd door basis en emitter van TR1 zal er een basisspanning ontstaan met het gevolg dat het werkpunt van de transistor verschuift volgens de pijl over de $I_B - V_B$ -lijn.

Bij een normale oscillator treedt dan bij punt Q, waar de rondgaande versterking 1 is geworden, een stabiele toestand in omdat het opladen van C_4 gelijke tred houdt met het aangroeien van de amplitude. In ons geval echter hebben we C_4 té groot gemaakt, waardoor het aangroeien van de wisselspanning sneller gaat dan het opladen van C_4 zodat punt Q wordt gepasseerd en de rondgaande versterking beneden 1 daalt. Het oscilleren stopt hierdoor en de trillingskring slingert uit om in punt R geheel spanningsloos te worden; er blijft voor de opgeladen C_4 niets anders meer te doen dan zich over R_1 te ontladen. De waarde van R_1 is ook weer vrij groot gekozen, om de ontlading langzaam te doen verlopen. De grootte van de weerstand bepaalt de schuinite van lijn R S T, en daarmee ligt de quenchfrequentie ongeveer vast. Wordt punt S gepasseerd dan is op dat moment de rondgaande versterking weer 1 en de kring $L_1 - C_2 C_3$ geheel ontdempt. In dit punt is de ontvanger op zijn gevoeligst en staat weergegeerd om te gaan oscilleren. Aangezien dit het belangrijkste moment is van de totale cyclus zullen we hierbij even stil staan.

De werkelijke toedracht is nogal gecompliceerd maar voor een goed inzicht kan de volgende formule, die het verband aangeeft tussen de beginspanning E_0 en de aangegroeide spanning E na een tijd t bij in- en uitslingeren van de trillingskringen ons op weg helpen (zie figuur 10).

$$E = E_0 e^{(r/2L)t}$$

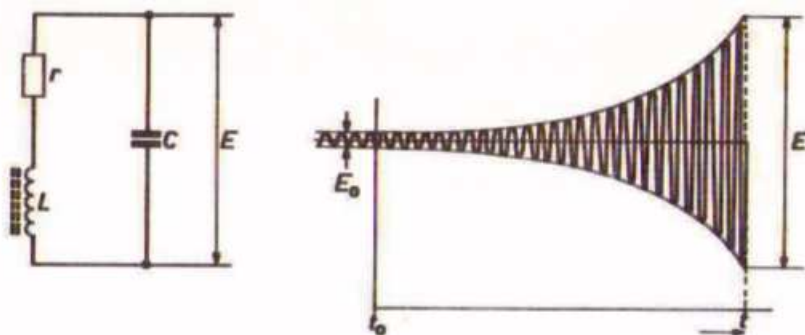


Fig. 10 De versterking is $E/E_0 = e^{(r/2L)t}$

e = grondtal der natuurlijke logaritmie 2,7.....

r = verliesweerstand in de afgestemde kring in Ω

L = zelfinductie van de afgestemde kring in H

t = tijd in sec. na de start.

Een oscillator die op het punt staat te gaan oscilleren zal starten na een kleine spanningspuls in het circuit (E_0). Dan zal na een tijd t de spanning aangegroeid zijn tot een waarde E , die dus volgens de formule evenredig is met E_0 . Dus E/E_0 is mede bepalend voor de versterkingsfaktor van de ontvanger.

Verder is E/E_0 evenredig met de term $e^{(r/2L)t}$ hetgeen zeggen wil dat de versterkingsfaktor afhangt van de verhouding r/L ; hoe groter de verliesweerstand en hoe kleiner de zelfinductie van de kring hoe groter de versterkingsfaktor. We zullen dus ter wille van een grote versterking een slechte kring moeten maken! De versterking kan gemakkelijk een waarde van 10^5 a 10^6 halen.

De beginspanning E_0 kan afkomstig zijn van:

- aanwezige ruisspanning in de kring
- binnenkomend zendersignaal
- restant van de voorgaande trillingspluk

Dit laatste mag niet voorkomen, omdat dit een foutieve instelling zou betekenen door een te hoge quenchfrequentie of een te goede kringkwaliteit: de gevoeligheid zou er sterk door verminderen. Door de quenchfrequentie juist te kiezen en een slechte spoel te nemen kunnen we er voor zorgen dat de "trillingsplukjes" los zijn. De snelheid van aangroeien is dus evenredig met de toevallig

aanwezige spanning E_0 in de kring op het moment dat punt S wordt gepasseerd. Het heen en weer kwispelen om het punt S, waar het bij de superregeneratieve ontvanger eigenlijk om gaat, noemt men in het Duits "pendeln" en "Pendler" is de naam van de ontvanger. In het Engels heet het "quenchen" en spreekt men over "self-quenching receiver". Hoe groter E_0 , hoe sneller de spanning aangroeit en hoe eerder punt T (fig. 9a) wordt bereikt. De quenchfrequentie neemt daardoor toe omdat de trillingsplukjes elkaar sneller zullen opvolgen. De gemiddelde collectorstroom neemt toe (fig. 9d) en hierin schuilt nu de detecterende werking van de superregeneratieve ontvanger, want een gemoduleerde draaggolf zal de quenchfrequentie variëren volgens het patroon van de modulatie en daardoor varieert de gemiddelde collectorstroom. Wordt er geen zendersignaal ontvangen dan zullen de toevallige ruisfluctuaties op het moment van de "start" (punt S) de grootte van E_0 bepalen. Ze zullen de volle versterking E/E_0 krijgen en de quenchfrequentie zal volgens deze ruis variëren. Hier ligt dus de oorzaak van het feit dat de superregeneratieve ontvanger berucht is om zijn sterke ruis bij afwezigheid van een zendersignaal. Zodra een zendersignaal binnenkomt dat sterker is dan de ruisfluctuaties wordt de quenchfrequentie gedwongen volgens de modulatie te variëren en de ruis valt weg.

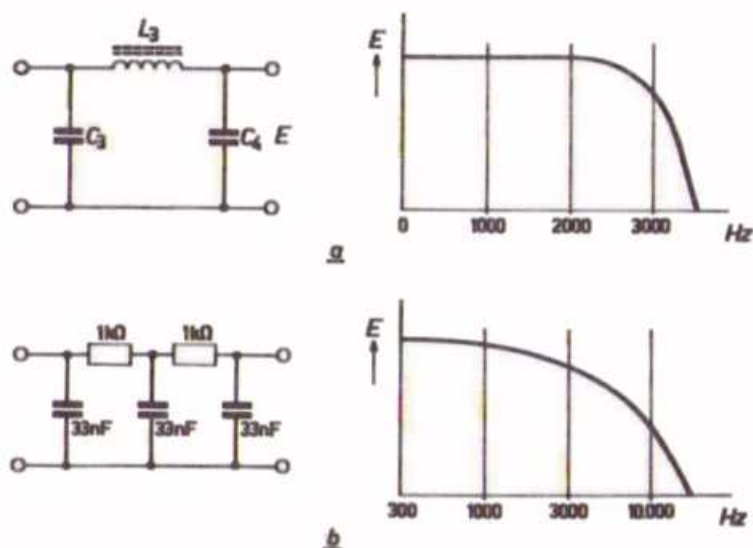


Fig. 11 Laagdoorlaatfilters

L_3 = potkern 14/I1 zonder luchtspleet, 400 wind., 0,1 mm émailliedraad

$C_3=C_4$ = 56 nF polyester condensator

Het laagfrequentsignaal dat door de variërende quenchfrequentie ontstaat, blijkt een praktisch constante amplitude te hebben, die onafhankelijk is van de sterkte van de binnenkomende draaggolf. Dit geeft ons een vrij goede automatische regeling zonder extra voorzieningen te treffen.

Zoals we reeds zagen, is het laagfrequentsignaal dat van de collectorweerstand kan worden afgenomen sterk geïnfiltreerd met 60 kHz quenchfrequentie. Deze lelijke zaagtand moet uit ons modulatiesignaal worden weggefilterd, met behulp van een laag doorlaat filter. In figuur 11 zijn 2 van dergelijke filters weergegeven met bijbehorende frequentiekaracteristiek; het laagfrequentsignaal wordt hiermee grondig schoongemaakt alvorens het de laagfrequentversterker en de filterkringen ingaat. Het laagfrequentsignaal, dat we uiteindelijk overhouden, heeft een sterkte van enkele millivolts en er zal een laagfrequentversterker moeten volgen om de spanning tot ongeveer 1 V op te voeren (foto 3).

Enkele opmerkingen

De quenchfrequentie wordt voornamelijk bepaald door de oplaad- en ontlaadtijd van C4 en R1 (fig. 8). Voor een waarde van 39 nF resp. 56 k Ω is de oplaadtijd plus de ontlaadtijd ongeveer 15 μ s wat neerkomt op een quenchfrequentie van 60 kHz. Spoel L1 is gewikkeld op een houder met instelbare poederijzerkern. De spoel behoeft niet te worden afgeschermd omdat er geen andere kringen zijn waarmee hij kan koppelen.

De hoogfrequentspoel L2 zorgt er voor dat de hoogfrequentspanning op de collector niet kan wegvloeien naar de +leiding. L2 moet minstens 50 μ H zijn. Op eenvoudige wijze kan L2 gemaakt worden van een staafje isolatiemateriaal van ongeveer 6 mm $\varnothing$ en een lengte van 20 mm met ongeveer 50 windingen van 0,1 mm emailledraad. Als spoelvorm gebruikt men vaak een hoogohmige $\frac{1}{2}$ W weerstand van het merk "Vitro-ohm". Philips weerstanden zijn voor dit doel niet geschikt omdat er dopjes op de uiteinden zitten, die een kortgesloten winding vormen en de spoelkwaliteit slecht maken.

De voor- en nadelen van de superregeneratieve ontvanger zullen we nogmaals samenvatten.

Nadelen : 1. Veel ruis als er geen draaggolf binnenkomt.
2. Slechte selectiviteit.
3. Het laagfrequent signaal wordt begeleid door een sterke quenchfrequentie.
4. Enige invloed van de antenne op de afstemming.
5. Laagfrequent signaal is enigszins vervormd.
6. Afstemming is gevoelig voor voedingsspanningsvariaties.
7. Uitstraling van een sterk gemoduleerd hoogfrequent signaal.

Voordelen: 1. Eenvoudig, goedkoop en klein.
2. Gevoelig.
3. Automatische volumeregeling vrij goed.

De superregeneratieve ontvanger is een generator die zichzelf met een quenchfrequentie moduleert. We hebben dus eigenlijk te maken met een zender, die een méér dan 100% gemoduleerde draaggolf uitstraalt over een groot frequentiegebied met vele harmonischen. Het is een pracht van een stoorzender die alle ontvangst in de omgeving onmogelijk maakt. Hij kan daarom alleen worden gebruikt als er niet met andere modellen in de omgeving wordt gewerkt.

Omgekeerd is de slechte selectiviteit van ruim 300 kHz de oorzaak dat hij geen andere zenders in de buurt kan dulden want hij ontvangt de gehele citizensband. Het is een grote egoïst!

De toepassingen voor deze ontvanger blijven beperkt tot goedkope modellen. Er is nog enige verbetering aan deze ontvanger mogelijk. Door het aanbrengen van een hoogfrequent voortrap kan de uitstraling worden vermeden terwijl de selectiviteit verbetert.

Superregeneratieve ontvanger met HF-voortrap (foto 3)

Een aantal bezwaren van de superregeneratieve ontvanger kan worden geëlimi-

neerd door een hoogfrequent voortrap. Men bereikt hiermee de volgende verbeteringen:

1. De extra afstemkring vergroot de selectiviteit. De bandbreedte wordt hierdoor verkleind tot ongeveer 100 à 200 kHz.
2. Een kleine extra versterking maakt de ontvanger een paar keer gevoeliger. Een gevoeligheid van enkele μV is gemakkelijk te halen.
3. Door deze extra versterking zal het signaal, dat het superregeneratieve deel krijgt toegevoerd, groter zijn, hetgeen vooral de signaal-ruis-verhouding ten goede komt.
4. De voortrap scheidt de antenne van het superregeneratieve deel en dus van de afstemkring. Dit maakt de afstemming onafhankelijk van de antennelengte en van objecten in zijn omgeving. Zonder voortrap zou het aanraken van de antenne de afstemming sterk beïnvloeden en het afslaan van de oscillator ten gevolge kunnen hebben. Zelfs kan het verschil uitmaken of een vliegtuig in de lucht is of op de grond staat door de veranderingen van de omgevingscapaciteit. Op de startbaan zou dan alles gezond lijken en in de lucht kan de ontvangst dan toch slecht zijn.
5. De voortrap scheidt het superregeneratieve deel van de antenne zodat er bijna geen uitstraling meer plaats vindt. Andere modellen worden dan niet meer gestoord. In sommige landen zijn de eisen voor de uitstraling van de ontvanger nogal streng. Zwitserland legt de grens bij $2 \cdot 10^{-9} \text{ W}$ en dit zou zonder voortrap niet te realiseren zijn. Men kan deze uitstraling controleren door met een hoogfrequent voltmeter met 60Ω ingangsweerstand de spanning te meten tussen de antenneaansluiting en aarde. Deze moet dan minder dan 0,35 mV zijn. In figuur 12 is de ontvanger weergegeven.

De antennekring moet worden afgeregeld met aangesloten antenne. De spoel L_2 van de superregeneratieve ontvanger moet worden afgeschermd om terugkoppeling naar L_1 te voorkomen en om de uitstraling tot een minimum te beperken. Het laagfrequent doorlaatfilter $C_9-R_7-C_{10}-R_8-C_{11}-R_9-C_{12}$ is zodanig ontworpen, dat de grens van zijn doorlaatgebied ligt bij 8000 Hz.

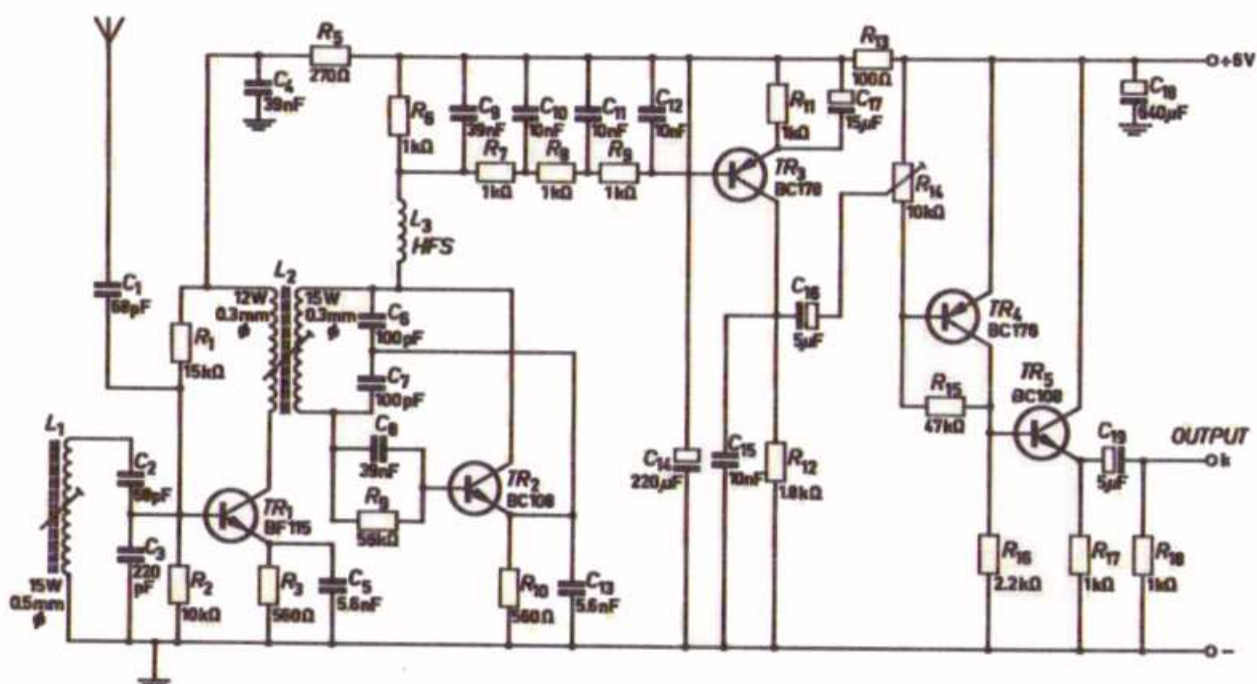


Fig. 12 Superregeneratieve ontvanger met HF-voortrap

L₁: 15 wind., 0,5 mm emaille draad, spoeldiam. 4 mm met poederijzerkern

L₂: primair 12 wind., 0,3 mm emaille draad, sec. 15 wind., 0,3 mm emaille draad spoeldiam. 4 mm met poederijzerkern

L₃: HF-smoorspoel, 50 wind., 0,1 mm emaille draad, spoeldiam. 6 mm

Dit maakt de ontvanger geschikt voor een groot aantal kanalen.

Met R₁₄ kan de laagfrequent output worden ingesteld op de gewenste waarde. Zie verder hoofdstuk 9, ontvanger III.

DE SUPERHETERODYNE ONTVANGER

Op 4 augustus 1917 diende een jong Frans ingenieur, Lucien Levy, een patent in dat het belangrijkste van de gehele historie der radiotechniek kan worden genoemd: de uitvinding van de superheterodyne ontvanger.

Lucien Levy werd op 11 maart 1892 geboren en stierf op 24 mei 1965. In juni 1916 werd hij chef van het laboratorium Radio-Telegraphie Militaire te Parijs. Hij maakte een lampenversterker, bestemd voor het afluisteren van telefoongesprekken en telegrafiesignalen die via een draad en de aarde (als terugleiding), door de vijand werden gevoerd. Hij experimenteerde veel aan systemen voor geheime berichtgeving t.b.v. militaire doeleinden. In 1916 stelde hij een 1,5 kW zender in werking op de Eiffeltoren. Om de uitzendingen een geheim karakter te geven werd de zender dubbel gemoduleerd n.l. de spraak werd eerst op een ultrasonore trilling gemoduleerd en samen moduleerden ze de zender. Met dit idee als grondgedachte zag hij de mogelijkheid om een nieuwe ontvanger te bouwen. Hij produceerde interferenties met een lokale oscillator en bereikte daarmee een dubbele selectie door eerst op de radiogolf af te stemmen en daarna op de verschilfrequentie van het opgevangen zendersignaal en deze lokale oscillator. Hij verkreeg zo een grotere versterking vooral bij de hogere frequenties, en een grotere selectiviteit, terwijl de ontvanger toch goed stabiel bleef werken. Dit type ontvangers is tegenwoordig vrijwel het enige dat nog wordt gemaakt omdat het alle voordelen bezit, die men van een ontvanger mag wensen. Ze dragen de naam "superheterodyne ontvanger" of ook wel kortweg "superhet" of "super" genoemd. Het woord heterodyne betekend vreemde kracht. Heteros is het Griekse woord voor vreemd of anders en dynamis betekent kracht. De vreemde kracht die in deze ontvangers wordt verondersteld komt vanuit de lokale oscillator. Verder is de toevoeging "super" af-

komstig van het feit dat de modulatie op een andere frequentie wordt overgebracht, ge"super"poneerd.

Blokschema en principe van de superhet

De superheterodyne ontvanger is een soort omvormer die de draaggolffrequentie omzet in een veel lagere frequentie, meestal 460 kHz, de middenfrequentie genaamd. Voor deze lagere frequenties is het veel gemakkelijker om selectieve filters te maken, dan voor de hogere, zoals 27 MHz, terwijl, zoals we zullen zien de versterking van het geheel veel meer kan worden opgevoerd zonder afbreuk te doen aan de stabiliteit van de ontvanger.

Het omvormen gebeurt in een zogenaamde mengtrap, die twee trillingen zodanig met elkaar mengt dat er een nieuwe trilling ontstaat, die gelijk is aan de middenfrequentie van 460 kHz. De ene trilling is afkomstig van de zender en de andere komt uit een ingebouwde oscillator. Door deze trillingen 460 kHz van elkaar te laten verschillen ontstaat er een nieuw trilling die gelijk is aan dit verschil van 460 kHz. In figuur 13 is een blokschema gegeven aan de superheterodyne ontvanger, speciaal bestemd voor afstandbesturing.

Er zijn veel goedkopere typen ontvanger mogelijk, waarin de hoogfrequent voortrap ontbreekt en waarvan de oscillator gecombineerd wordt met de mengtrap, de z.g. zelfoscillerende mengtrap, maar voor ons zijn deze niet zo geschikt omdat ze niet aan de eisen voldoen die wij er aan stellen, zoals uit de

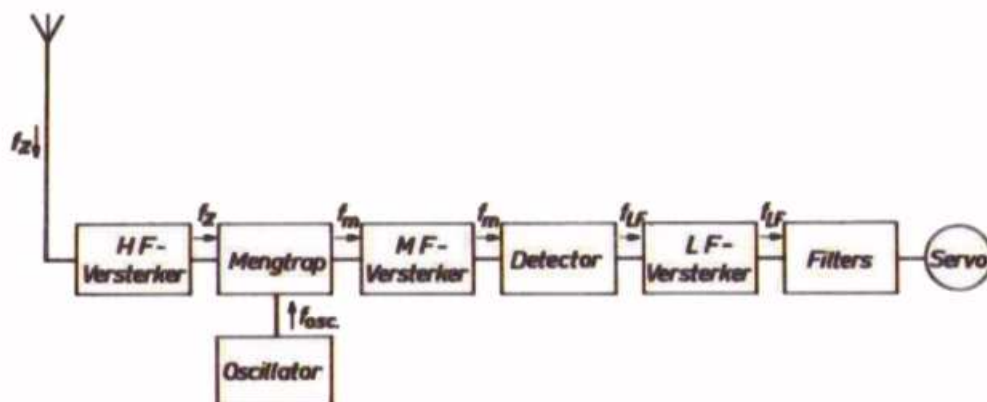


Fig. 13 Blokschema van de superheterodyne ontvanger

verdere behandeling zal blijken. Voor goedkope portable omroepontvangers wordt dit wel veel gedaan, omdat de eisen hiervoor niet zo hoog zijn als voor ons doel.

Principe

Na enige hoogfrequentversterking arriveert het gemoduleerde zendersignaal f_z op de ingang van de mengtrap en wordt daar gemengd met het oscillatorsignaal f_{osc} (fig. 14). In de mengtrap speelt zich een vrij gecompliceerd proces af, waarbij vele nieuwe trillingen ontstaan. Eén ervan heeft een frequentie gelijk aan het verschil tussen zender- en oscillatorfrequentie ($f_z - f_{osc}$) en deze is op dezelfde wijze gemoduleerd als het oorspronkelijke zendersignaal. Alleen deze frequentie, (middenfrequentie f_m) interesseert ons. Daartoe is er in het uitgangscircuit van de mengtrap een filter opgenomen dat op deze middenfrequentie is afgestemd en ook alleen deze frequentie doorlaat, terwijl alle andere frequenties door dit filter worden kortgesloten en naar de voedingsbron teruggevoerd.

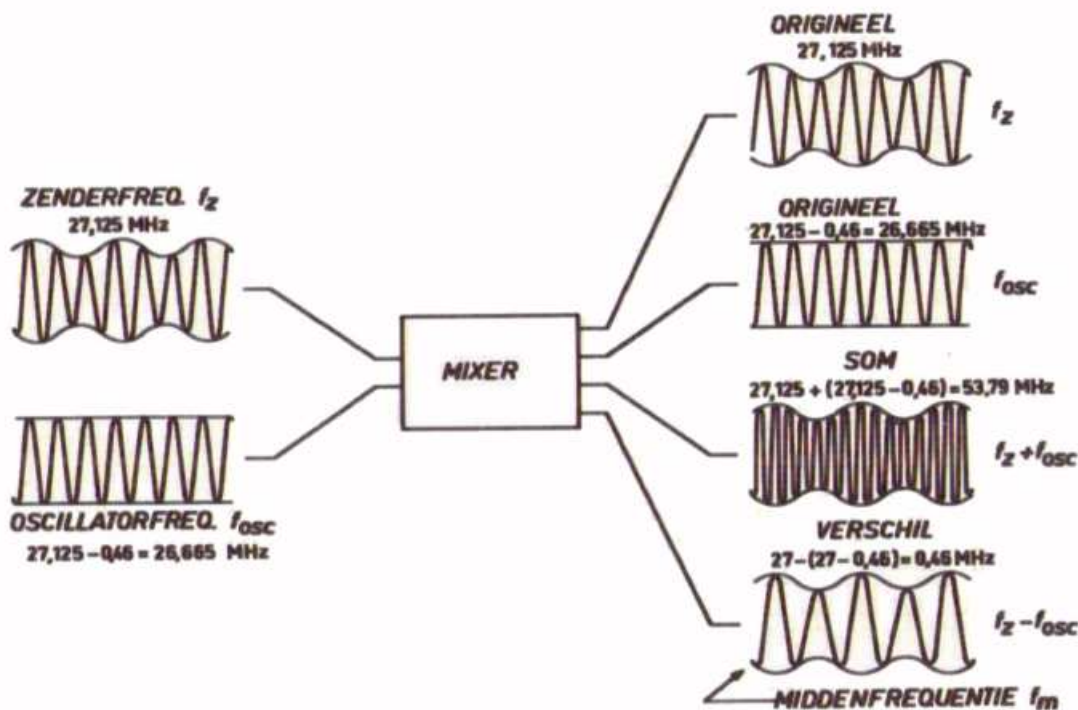


Fig. 14 Mixerfrequenties

In de middenfrequentversterker wordt het middenfrequentsignaal verder versterkt tot een waarde van enkele honderden millivolts, zodat ze daarna zonder vervorming door de detector kunnen worden gedetecteerd. Het modulatiesignaal blijft uiteindelijk over en wordt door de laagfrequentversterker nog verder opgevoerd om tenslotte door de toonfilters te worden gedirigeerd naar de juiste schakelunits en servomotoren.

Deze ontvangers zijn in staat om een antennesignaal van enkele μV op te voeren tot bruikbare relaisspanningen van meerdere volts. D.w.z. een versterking van ongeveer een miljoen keer! Dit gebeurt dus in 3 etappes. Het antennesignaal wordt door de hoogfrequenttrap en de mengtrap versterkt tot enkele honderden mikrovolt middelfrequentsignaal. In de middenfrequentversterker en de detector gaan we verder en maken er enkele honderden millivolts MF-signaal van, dat na detectie verandert in 100 à 150 mV laagfrequentsignaal. Daarna voert de LF-versterker dit signaal weer op tot enkele volts en de schakelunit maakt hiervan enkele watts voor het bedrijven van de servomotoren.

Behalve dat de superheterodyne ontvanger een aanzienlijke versterking kan halen en daarbij goed stabiel blijft werken, heeft hij ook het vermogen om het zendersignaal goed scherp te filteren. Dat is een zeer belangrijk voordeel, want de zenderkanalen voor afstandbesturing liggen in sommige landen slechts 20 kHz uit elkaar; d.w.z. de ontvanger mag eigenlijk slechts een bandbreedte hebben van hoogstens 18 kHz. Met de superregeneratieve ontvanger haalt men een bandbreedte van 200 - 500 kHz, met de rechtuit-ontvanger met veel moeite 300 kHz en met heel veel moeite misschien 100 kHz en dat is voor simultaan bedrijf veel te breed. Bij de superheterodyne ontvanger komt de grote selectiviteit in de middenfrequentversterker tot stand. Men heeft internationaal de middelfrequenties vastgesteld tussen 455 - 475 kHz. In dit gebied worden geen zenders toegelaten, zodat men niet hoeft te vrezen dat er storende draaggolven de middenfrequentversterker kunnen binnendringen. Op deze frequenties is het niet moeilijk om MF-filters te maken met een bandbreedte van 18 kHz.

Dit is ongeveer 3,9% van 460 kHz. De meeste filters zijn veel scherper. Het is zelfs zo, dat bij gebruik van meerdere filters achter elkaar, zoals dat het geval is bij één of twee trappen MF-versterking, men moet oppassen dat de selectiviteit niet al te groot wordt, waardoor de hoge modulatiefrequenties te veel zouden verzwakken. Daarom is men meestal genoodzaakt, de pieken van de filters iets t.o.v. elkaar te verschuiven, waardoor een rechthoekige doorlaatkromme ontstaat, die de hogere modulatiefrequenties tot 8000 Hz even sterk doorlaat als alle andere frequenties.

De middenfrequentie kan op 2 manieren tot stand komen:

1. door zenderfrequentie minus oscillatorfrequentie, dus bij 27,125 MHz - 26,665 MHz = 0,46 MHz (fig. 14).
2. door oscillatorfrequentie minus zenderfrequentie, dus:
27,585 MHz - 27,125 MHz = 0,46 MHz.

De MF-versterker kan hierin geen verschil ontdekken.

Men heeft nu voor afstandbesturing de gewoonte aangenomen om de eerste combinatie te kiezen, dus de oscillatorfrequentie lager dan de zenderfrequentie. (Bij omroepontvangers past men gewoonlijk de andere combinatie toe). Men begrijpt wel, dat we op moeten passen voor een eventuele zender die op 26,205 MHz of daaromtrent werkt. Immers, zou die tot onze mengtrap doordringen, dan zou hij met onze oscillatorfrequentie van 26,665 MHz ook een MF-signaal van ongeveer 0,46 MHz doen ontstaan. Vooral wanneer beide MF-signalen iets in frequentie zouden verschillen, kan dat een zeer hinderlijke fluittoon geven die, wanneer hij één van de toonfilters zou passeren, funeste gevolgen kan hebben. Deze z.g. spiegelfrequentie moet dus coûte que coûte worden geweerd vóór hij de mengtrap zou kunnen bereiken. Het is de taak van de HF-kringen om deze frequentie weg te filteren. Daar hij $2 \times 460 \text{ kHz} = 920 \text{ kHz}$ van de gewenste zenderfrequentie verschilt moet de z.g. veraf-selectiviteit van de ingangskring minstens zijn:

$$\frac{0,92}{27,12} \simeq 3\frac{1}{2} \%$$

Dit is met één enkele antennekring vrijwel niet te halen, vooral omdat de antenne de kring nogal dempt. Vandaar, dat een HF-voorversterkertrap niet alleen zin heeft om het signaal te versterken, maar vooral ook om de grotere selectiviteit die de extra filterkring tussen de voorversterker en de mengtrap oplevert. Er zijn dan twee filterkringen die de zenderfrequentie filtreren zodat de spiegelfrequentie zo sterk wordt onderdrukt dat er niet veel kans meer bestaat dat hij de mengtrap bereikt. Eigenlijk zou het logischer zijn om de middenfrequentie hoger te kiezen, b.v. 1,5 MHz, zodat de spiegelfrequentie 3 MHz ver weg ligt, maar dat is geen vrij gebied. Overigens zijn de middenfrequentiefilters die in de handel zijn, bestemd voor 460 kHz (voor FM-ontvangers 10,7 MHz).

Aangezien er voor afstandbesturing altijd met vaste zenderfrequenties wordt gewerkt die door een kristal worden gefixeerd, zal ook de ontvanger altijd precies op deze frequentie afgestemd moeten zijn en dus zal de oscillatorfrequentie precies 0,46 MHz minder moeten zijn. Daarom brengt men kristallen-paren in de handel, waarvan één voor de oscillator in de zender en de ander voor de oscillator in de ontvanger bestemd is. Tabel II geeft een overzicht van de frequenties van deze kristal-paren.

In de landen, waar men op hogere frequenties mag werken, zoals 40,68 MHz in Duitsland en 72 MHz in Frankrijk, wordt het onderdrukken van de spiegelfrequentie nog moeilijker omdat de ingangsfilters samen een selectiviteit moeten hebben die zo scherp is, dat de spiegel met een frequentie van 39,760 MHz moet worden onderdrukt. D.w.z. een selectiviteit van minstens 0,98%. Dan is men genoodzaakt bij dit soort ontvangers het superheterodyne principe 2x toe te passen; men spreekt dan van een z.g. "dubbel super" waarin eerst een middenfrequentie van b.v. 3 MHz wordt gekozen en daarna de normale van 460 kHz. Dit zijn vrij kostbare ontvangers die met twee kristallen werken en die zonder goede meetapparatuur moeilijk zijn af te regelen. Vandaar dat men in zo'n geval maar liever zijn toevlucht neemt tot de superregeneratieve ontvanger.

Voor afstandbesturing is een goede automatische volumeregeling onontbeer-

TABEL II

Frequenties	Kanaal Nr.	Zenderkristal in MHz	Ontvangerkristal in MHz
26 965	1		
26 975	2	26, 975	26, 515
26 985	3		
26 995	4	26, 995	26, 535
27 005	5		
27 015	6		
27 025	7	27, 025	26, 565
27 035	8		
27 045	9	27, 045	26, 585
27 055	10		
27 065	11		
27 075	12	27, 075	26, 615
27 085	13		
27 095	14	27, 095	26, 635
27 105	15		
27 115	16		
27 125	17	27, 125	26, 665
27 135	18		
27 145	19	27, 145	26, 685
27 155	20		
27 165	21		
27 175	22	27, 175	26, 715
27 185	23		
27 195	24	27, 195	26, 735
27 205	25		
27 215	26		
27 225	27	27, 225	26, 765
27 235	28		
27 245	29		
27 255	30	27, 255	26, 795
27 265	31		
27 275	32		

Kanaalfrequenties in de 27 MHz-band

Kanaalafstanden 10 kHz

De frequenties van de ontvangerkristallen gelden voor een middenfrequentie van 460 kHz.

lijk. Door de grote afstandsverschillen die tussen model en zender kunnen voorkomen, kan de veldsterkte ter plaatse van het model zeer veel uiteenlopen. De spanningsvariaties op de ingang van de ontvanger zijn daardoor enorm groot. In de onmiddellijke omgeving van de zender kan de spanning meer dan 1 V zijn, en op enige honderden meters afstand enkele μV . De taak van de automatische volumeregeling is nu om deze verhouding van meer dan 1 : 100 000 terug te brengen tot bijna niets. Niet alleen dat dit noodzakelijk is voor een goede selectie van de toonkanalen, maar ook moet worden voorkomen, dat de diverse trappen in de ontvanger worden overstuurd. Dit zou de modulatie kunnen aantasten en de mengtrap overbelasten, waardoor vele ongewenste harmonischen kunnen ontstaan.

We gaan nu de diverse trappen van de superheterodyne ontvanger afzonderlijk onder de loupe nemen.

De hoogfrequent voortrap

De voortrap is voor een goede ontvanger onmisbaar. Hij heeft een viervoudige taak:

1. Het antennesignaal wordt enkele malen versterkt. De ontvangergevoeligheid op de antenne-ingang is ongeveer $5 \mu\text{V}$.
2. Er ontstaat een vergroting van de selectiviteit door de aanwezigheid van 2 filterkringen op 27 MHz. Dit draagt aanzienlijk bij tot de onderdrukking van de spiegelfrequenties.

De hoogfrequentselectiviteit moet ook niet al te groot zijn, want dat zou het bezwaar hebben dat niet de hele citizensband van 26,965 tot 27,275 wordt doorgelaten. En dat willen we toch wel graag omdat we dan bij het kiezen van een ander kanaal alleen de oscillator behoeven te verstemmen, d.w.z. dan is het voldoende om alleen het kristal te verwisselen zonder de hoogfrequentkringen te verstemmen. In getallen uitgedrukt moet dus de selectiviteit beter zijn dan 3,3% en slechter dan 1,1%.

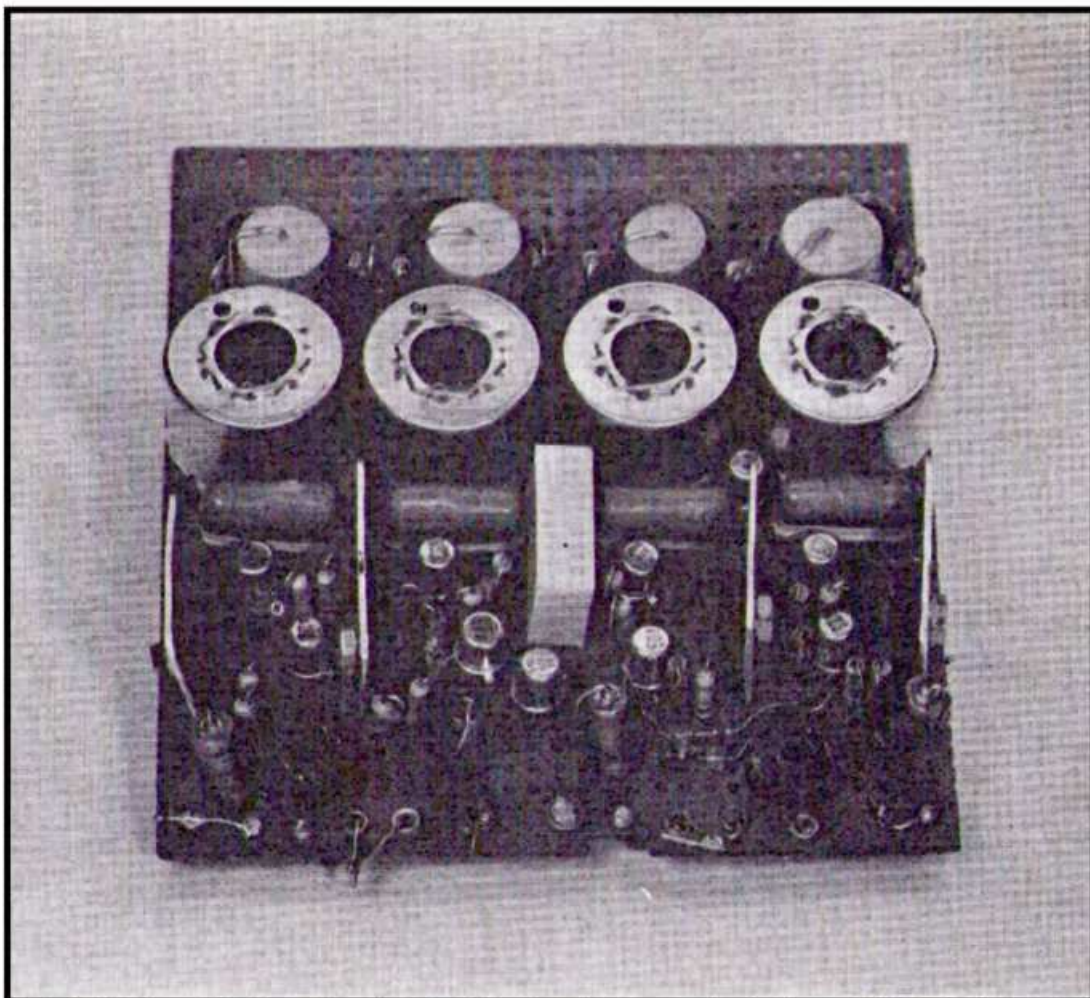


Foto 10. Getransistoriseerde schakelunit bestemd voor mechanisch en elektrisch niet-neutraliserende servo's (fig. 28).

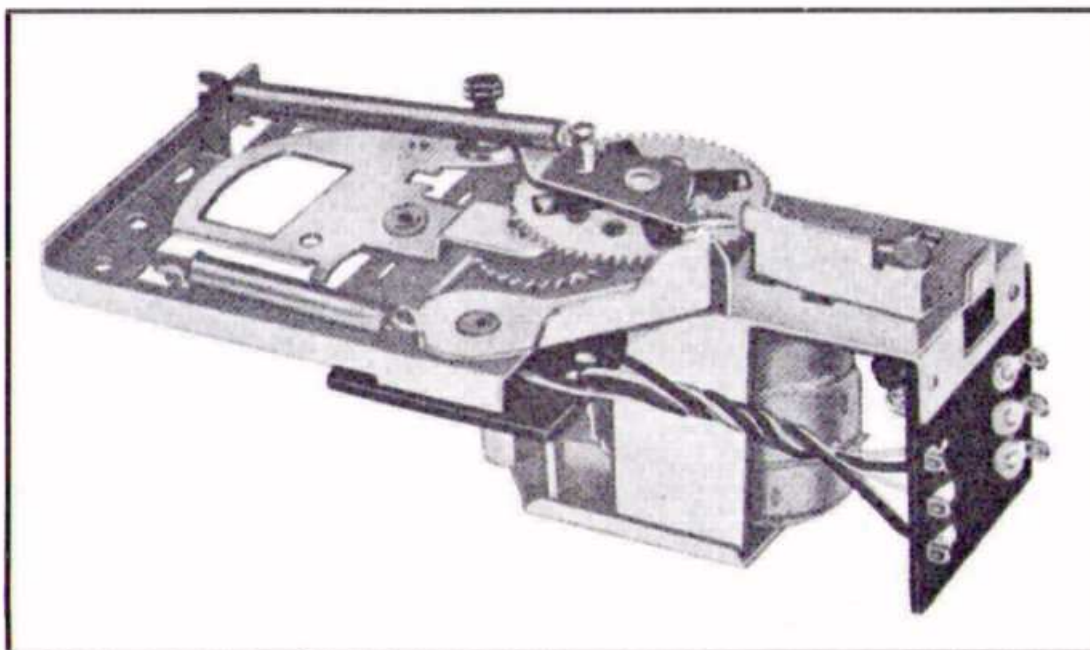


Foto 11. Eénkanaalservo met 6 functies, de „Kinematic” van Graupner.

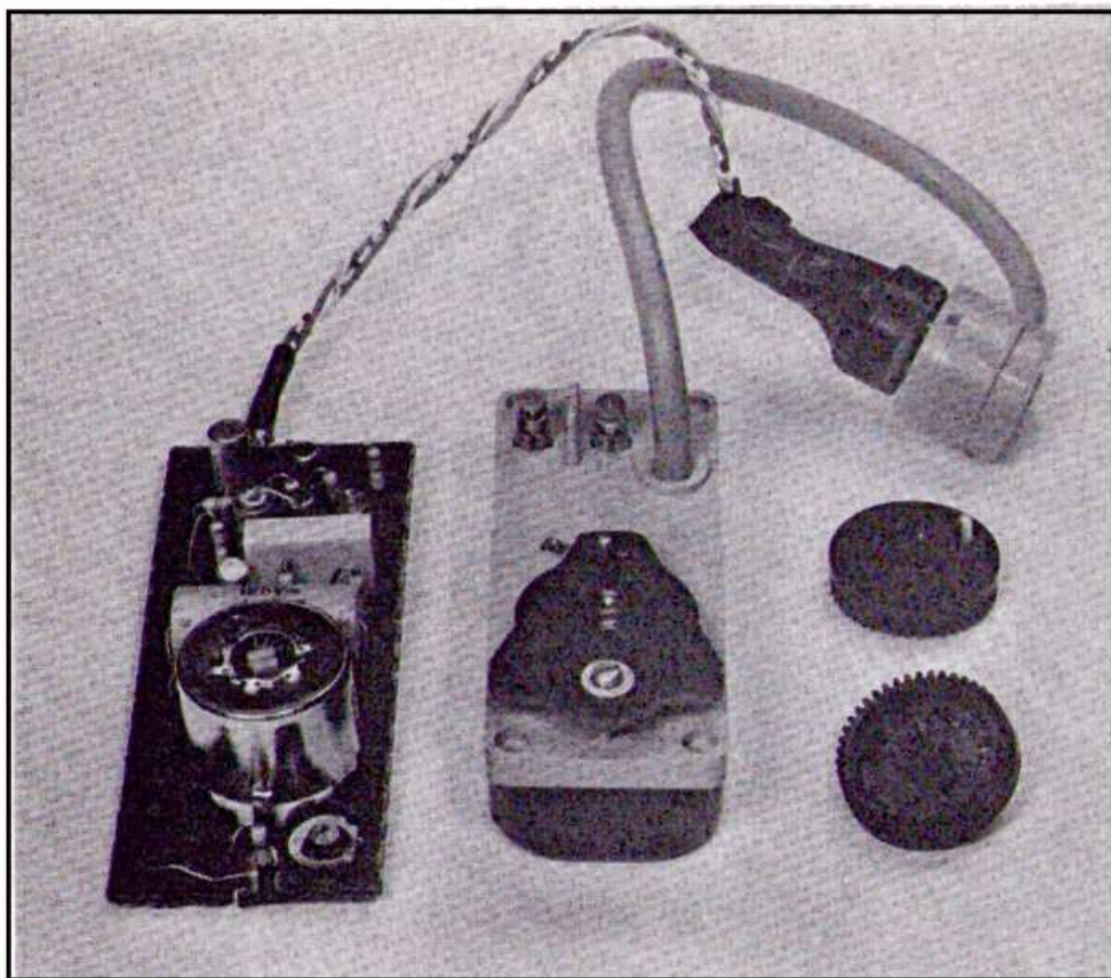


Foto 12. De éénkanaalservo „Metz Mecatronic“ met bijbehorende transistorunit (fig. 29) en schakelschijven.

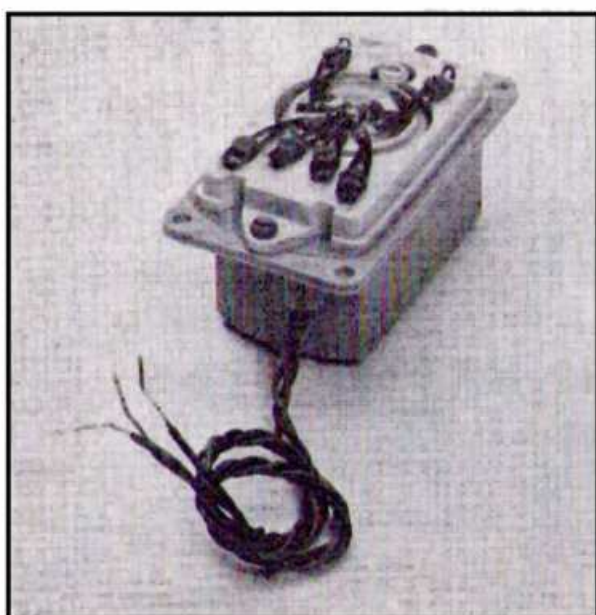


Foto 13. De vijfstanden-schakelwals „Polumat 184/1“.

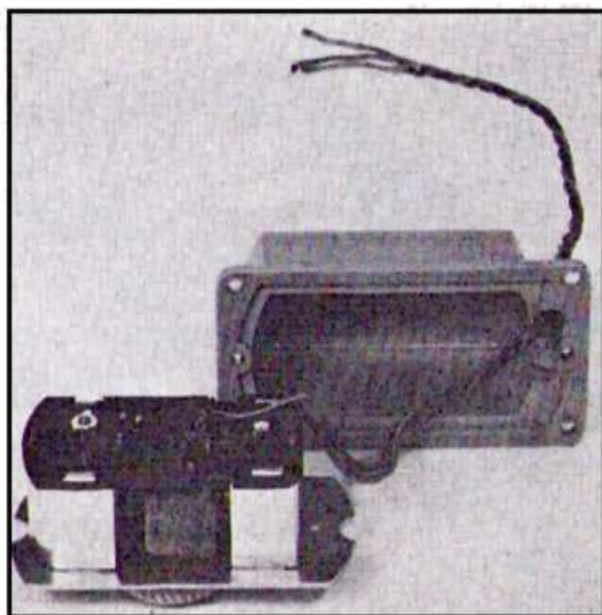


Foto 14. Het inwendige van de schakelwals van foto 13 (zie fig. 30).

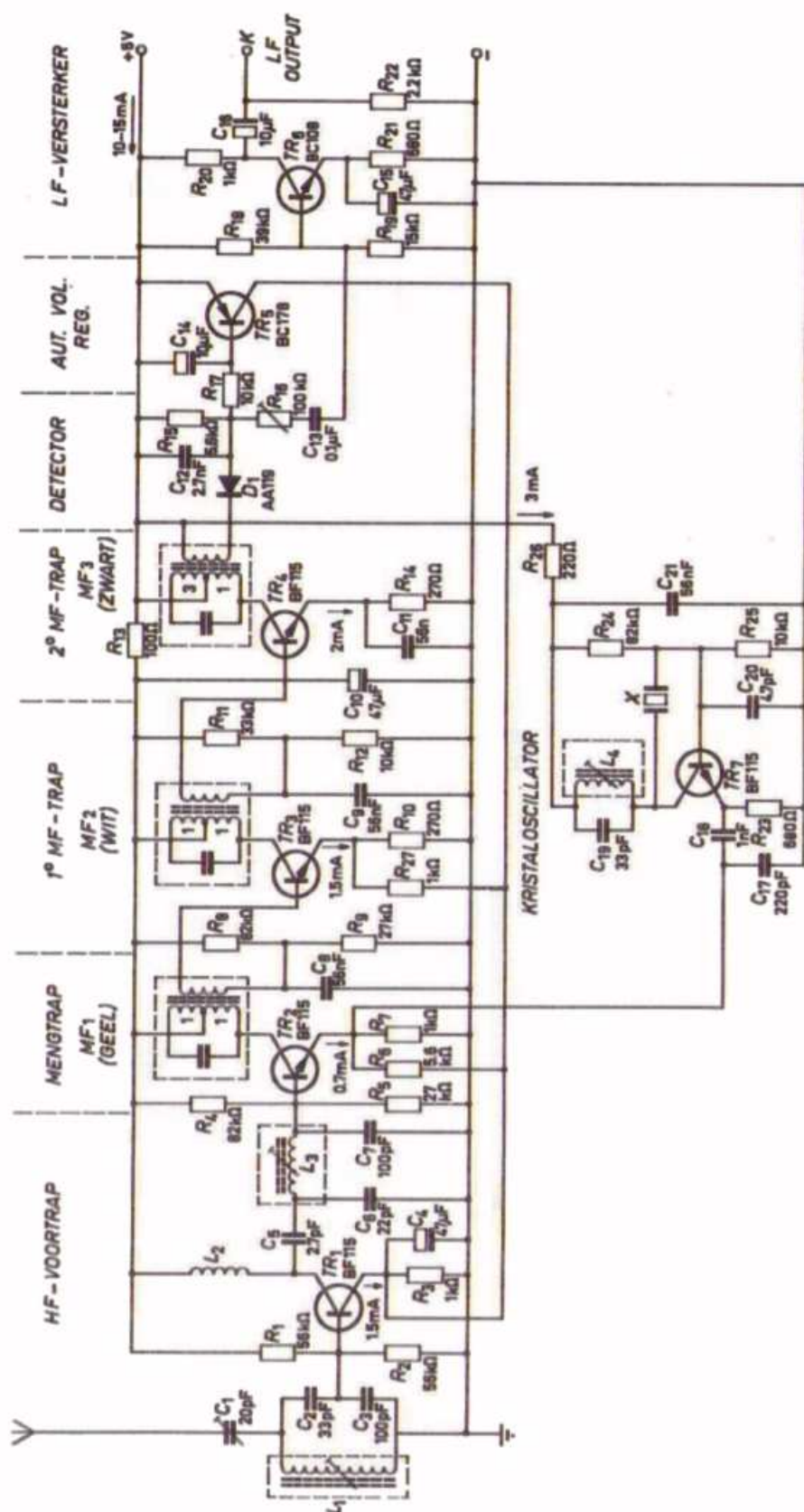


Fig. 15 Superheterodyne

$L_1=L_3=L_4$: 18 wind., 0,4 mm emaille draad, spoeldiam. 4 mm met verstelbare

poederijzerkern en afscherming

L_2 : HF-smoorspoel, 150 wind., 0,1 mm emaille draad, spoeldiam. 3 mm

Werkt men altijd met 1 kanaal, dan is maximale selectiviteit het beste.

3. De voortrap scheidt de antenne van de mengtrap. Uitstraling van het oscillatorsignaal wordt hierdoor verminderd.
4. De hoogfrequentvoortrap speelt een belangrijke rol in de automatische volumeregeling. De grote signaalverschillen in de antenne worden hierdoor aanzienlijk verminderd, zodat de mengtrap wordt beschermd tegen oversturing. Het antennesignaal wordt via de kleine trimmer C_1 van 20 pF naar de eerste afgestemde kring geleid (figuur 15). De lage waarde van C_1 is noodzakelijk om de invloed van de antennecapaciteit, die sterk afhankelijk is van zijn lengte en van zijn plaats t.o.v. voorwerpen of personen in zijn naaste omgeving, klein te houden, zodat de selectiviteit en de afstemming van de eerste kring er niet door worden veranderd.

Spoel L_1 bestaat uit 18 windingen van ongeveer 0,4 mm emailledraad, gewikkeld om een spoelkern van ongeveer 4 mm diameter met instelbare poederijzerkern. Afscherming van deze spoel is noodzakelijk om koppeling tussen L_1 en L_3 klein te houden. De versterking van de eerste transistor op deze frequentie van 27 MHz is laag (ongeveer 5 x).

De tweede kring is als π -filter uitgevoerd. Het collectorcircuit bestaat uit een hoogfrequent smoorspoel (L_2) van 150 windingen, 0,1 mm emailledraad op een stukje hout of plastic van 3 mm diameter. De koppeling tussen collector en π -filter gebeurt door C_5 , een kleine condensator van 2,7 pF. Deze losse koppeling zorgt er voor dat de invloed van TR_1 op de selectiviteit van het π -filter gering is.

De emitter van TR_1 is verbonden met de regelspanning van de automatische volumeregeling.

De mengtrap

Het mengen van frequenties kan op verschillende manieren gebeuren. Voert men b.v. 2 frequenties f_1 en f_2 toe aan de ingang van een vervormingsvrije

versterker, dan spreekt men van additieve menging omdat de 2 frequenties gewoon bij elkaar worden opgeteld zonder dat hieraan andere frequenties door de versterker worden toegevoegd. De additieve menging wordt o.a. toegepast in menglessenaars voor laagfrequente trillingen (spraak, muziek enz.). Aan de uitgang van de versterker zijn f_1 en f_2 nog precies in dezelfde gedaante als aan de ingang, alleen meer of minder versterkt. Deze mengmethode is voor ons niet van belang, want wij willen juist wel dat er nieuwe trillingen ontstaan. Daarom voeren wij de 2 frequenties f_1 en f_2 , of beter f_z en f_{osc} , niet toe aan een vervormingsvrije versterker maar wij gaan doelbewust de frequenties toevoeren aan een niet lineair element, b.v. een diode of een transistor, die zijn werkpunt heeft in het kromme deel van zijn karakteristiek. Dan gebeurt het volgende: de ene trilling (f_{osc}) laat het werkpunt kwispelen over het kromme deel van de karakteristiek, waardoor de versterking van de transistor in dit ritme varieert. De andere trilling (f_z) afkomstig van de zender, die meestal veel zwakker is, zal dan ook in dit ritme meer of minder versterkt worden. Men zou kunnen zeggen: de amplitude van de eerste trilling bepaalt op elk moment de versterking voor de tweede trilling. Er treedt een vermenigvuldiging op van de twee amplitudes. Men spreekt dan ook van multiplicatieve menging.

Bij deze manier van mengen ontstaan vele nieuwe trillingen, waarvan het aantal afhangt van de soort kromming van de karakteristiek van het niet lineaire element in de mengtrap.

Meestal is dit een 2de, 3de, 4de enz. machtskromme, met het gevolg dat er niet alleen verschil- en somfrequenties ontstaan, maar ook allerlei harmonischen, die op hun beurt ook weer verschil- en somfrequenties vormen. Met behulp van de goniometrie kan men al deze frequenties berekenen, maar dat zou ons te ver voeren. De meeste van deze frequenties zijn vrij zwak maar er zijn er 2 die zeer sterk zijn vertegenwoordigd, n.l. de som- en de verschil-frequentie van de toegevoerde trillingen. Beide frequenties zijn op dezelfde wijze gemoduleerd als de oorspronkelijke zenderfrequentie f_z . We zagen immers dat door de menging de amplituden met elkaar vermenigvuldigd worden

en dus is ook de amplitudevariatie ten gevolge van de modulatie daarin vercalculeerd. Daar wij geïnteresseerd zijn in de verschilfrequentie willen we alleen deze uitzeven. Er wordt in de uitgang van de mengtransistor een filter opgenomen dat afgestemd is op deze verschilfrequentie, terwijl voor alle andere frequenties dit filter vrijwel een kortsluiting naar aarde vormt.

De mengtransistor wordt met R4 en R5 (fig. 15) in het kromme deel van zijn karakteristiek ingesteld, zodanig dat de stroom door deze transistor hoogstens 1 mA bedraagt. De beste menging wordt verkregen als de oscillatorspanning op de emitter 100 à 200 mV bedraagt.

De mengtrap wordt ook betrokken in de automatische volumeregeling. In normale omroepontvangers doet men dit bij voorkeur niet omdat hierdoor de oscillatorfrequentie kan worden beïnvloed. In ons geval bestaat deze moeilijkheid niet omdat het kristal de oscillatorfrequentie onwrikbaar vastlegt.

Bij het mengproces kan men spreken van de mengversterking of conversieversterking V_C (conversie = omzetting). Hieronder verstaat men het quotient van de MF-spanning op de collector en de HF-ingangsspanning op de basis.

$$V_C = \frac{E_{MF}}{E_{HF}}$$

Bij een goede mengtrap kan men rekenen dat de V_C ongeveer 0,7 x de normale versterking van de transistor is, dus tussen 50 en 100.

De conversieversterking is bij kleine oscillatorspanningen enigszins evenredig met de grootte van de oscillatorspanning; bij spanningen van ongeveer 200 mV nadert V_C tot constante waarde.

De oscillator

Aangezien het kristal in serie- of in parallelresonantie kan werken en de werkfrequenties van beiden niet dezelfde zijn, (deel I, hoofdstuk 5) is het raadzaam

dezelfde soort kristaloscillator toe te passen als in de bijbehorende zender. Want dan is men er zeker van dat het verschil tussen zenderfrequentie en oscillatorfrequentie in de ontvanger precies overeenkomt met het verschil van de frequenties die op de 2 kristallen staan aangegeven en dus de gewenste middenfrequentie van 460 kHz zal zijn. Wij hebben in onze ontvanger het kristal in serieresonantie geschakeld, omdat dit in de meeste zenders ook het geval is. We stellen ons voor, dat deze ontvanger gebruikt wordt in combinatie met de zender IV van blz. 135 deel I en ook daar is serieresonantie toegepast.

Om een stevig oscilleren bij diverse voedingsspanningen te waarborgen is een kleine condensator C20 nodig van 4,7 pF, die dient om de juiste fazedraaiing van collector via het kristal naar de basis te bewerkstelligen.

Het oscillatorsignaal wordt van de emitterweerstand afgenomen en via C18 op de emitter van de mengtransistor geïnjecteerd. Het is belangrijk dat er niet te veel harmonischen op de emitter van TR2 terecht komen. Meestal produceert de oscillator een trilling waarin vele harmonischen aanwezig zijn; zelfs de 10^e kan er in voorkomen, en deze kunnen interferenties veroorzaken. Want wanneer er vreemde zenderfrequenties de mengtrap zouden binnendringen die met één van de vele harmonischen van onze oscillator ongeveer de middenfrequentie zouden verschillen, dan zouden ze ook het mengprocédé ondergaan en eigen middenfrequenttrillingen opwekken die in de middenfrequentversterker mee worden versterkt. Er kunnen door combinatie van deze ongewenste middenfrequenties met onze eigen middenfrequentie verschilfrequenties ontstaan die zich na detectie als hinderlijke fluittonen kunnen manifesteren. Gelukkig valt het meestal wel mee, want als deze fluittonen voorkomen zijn ze vrij zwak en kunnen ze niet veel kwaad uitrichten. Verder zorgt C17 ervoor dat een deel van de harmonischen van de oscillator naar aarde worden afgevoerd. Maar vooral een goede selectiviteit van de ingangskringen werkt hier gunstig, omdat vreemde zenders uit de mengtrap worden geweerd. Spoel L4 is van hetzelfde type als L1 en wordt op ongeveer de gewenste oscillatorfrequentie afgestemd, zodat het kristal wordt gedwongen op zijn 3^e boventoon te trillen.

De middenfrequentversterker

Er zijn 2 trappen MF-versterking die met elkaar zijn gekoppeld door middenfrequent transformatoren. Bijzonder geschikt voor dit doel zijn MF-transformatoren van Japans fabrikaat. De condensatoren voor de afstemming zijn ingebouwd en met de ferroxcube kern kan ongeveer 20% worden gevarieerd. Ze hebben een redelijke kwaliteit ($Q = 60$) en zijn goedkoop. Er bestaan verschillende typen waarvan wij er 3 gebruiken: geel, wit en zwart. De gele is bestemd voor de mengtrap, de witte voor de tussentrap en de zwarte voor de laatste trap vóór de detectie. De primaire windingen zijn van de eerste 2 gelijk en ze zijn voorzien van een middenaftakking. De derde trafo heeft zijn aftakking niet in het midden. De secundaire windingen zijn verschillend; geel heeft een wikkelverhouding van 16 : 1, wit heeft 20 : 1 en zwart 8 : 1. De middenfrequentversterker geeft eigenlijk de grote stoot aan de versterking en aan de selectiviteit. De versterking is ongeveer 1000 x, waarvan de eerste trap ± 10 x en de 2^e trap ± 100 x voor zijn rekening neemt. De emitter van TR3 is niet ontkoppeld en dat is de oorzaak dat de eerste trap zo weinig versterkt. In de praktijk blijkt n.l. dat ontkoppeling van de emitter de versterking wel vergroot maar ook de kans op genereren. Wij geven de voorkeur aan een stabiele versterker met wat minder versterking. Tevens winnen we zo wat meer selectiviteit, omdat TR3 minder damping geeft op MF1.

De versterking van TR3 is afhankelijk van de regelspanning van de automatische volumeregeling in tegenstelling met de laatste trap die niet wordt geregeld. Deze trap moet zoveel mogelijk outputspanning leveren aan de detector en daarom is het nodig dat TR4 in het rechte deel van zijn karakteristiek werkt. Om dezelfde reden heeft ook de secundaire winding van MF3 meer windingen dan de andere MF-transformatoren.

Het trimmen van de MF-filters gebeurt als volgt: de zender wordt ingeschakeld en op grote afstand opgesteld, zodat we aan de grens van de reikwijdte staan. Dan is de automatische volumeregeling nog niet in bedrijf en is de ontvanger maximaal gevoelig. De zender wordt gemoduleerd met de hoogste mo-

dulatiefrequentie. We trimmen dan eenvoudig op maximale output van het toon-signaal op de uitgang. Ook de 27 MHz-kringen worden op maximale output afge-regeld. Tijdens het afregelen moet regelmatig worden gecontroleerd of de MF-versterker niet in zichzelf staat te genereren. Er zou dan toch output worden gemeten, die niet van de zender komt. Daarom raden we aan zo nu en dan de zender even uit te schakelen of de ingang van de ontvanger kort te sluiten. Als alles goed is getrimd dan moet de trimkern nog naar beide zijden versteld kunnen worden om er zeker van te zijn dat we niet aan de grens zitten van de instelmogelijkheid.

Bij de bouw van de MF-versterker moet er op worden gelet dat de verbindin-gen kort zijn en dat de MF-transformatoren niet met elkaar kunnen koppelen en ook niet met de 27 MHz-kringen. Want als ongeveer 1/1000 deel van de uit-gangsspanning de eerste MF-trafo MF₁ of de ingang van de mengtrap zou kun-nen bereiken, dan zou aan de genereervoorwaarde worden voldaan. Daarom plaatsen we MF₃ zo ver mogelijk van MF₁ en L₃, maar wel zo, dat de verbin-dingen kort blijven.

Op foto 4 zijn 2 superhets te zien volgens schema 15. Bij de kleine bleek een afscherming nodig te zijn tussen de MF-trappen.

Detectie

Op de secundaire kant van de laatste middenfrequent-transformator zal het sig-naal ongeveer 500 mV zijn. Dit is ruim voldoende om de detector vervormings-vrij en efficient te laten detecteren. Voor germaniumdiodes is een goede detec-tie al mogelijk als ze 100 mV krijgen toegevoerd.

Als het zendersignaal voor 50% is gemoduleerd kan men theoretisch van 500 mV MF-signaal 250 mV LF-signaal overhouden. In de praktijk is dit wat minder en zal ongeveer 200 mV worden gemeten.

Achter de detector volgt nog een trap laagfrequentversterking, TR₆, die het signaal verder opvoert tot ongeveer 2 V. Met de instelpotmeter R₁₆ kan men

de sterkte van de output regelen.

Het is aan te bevelen de uitgangsklemmen zodanig te maken dat een koptelefoon kan worden aangesloten.

Automatische volumeregeling

Bij transistorontvangers is het geen eenvoudig probleem om voor grote signaalverschillen een goede automatische volumeregeling te maken, hetgeen zijn oorzaak vindt in het feit dat bij deze hoge frequenties een volkomen dichtgedrukte transistor nog signaal doorlaat.

Wanneer de emitterspanning van TR₁ die normaal $1\frac{1}{2}$ V is, naar boven wordt opgevoerd tot $2\frac{1}{2}$ V, dan is deze transistor volkomen afgeknepen en verzwakt het signaal aanzienlijk. Toch zullen sterke signalen er nog doorheen siepelen, ook als de emitterspanning verder wordt opgevoerd. Dit komt door de inwendige capaciteit van de transistor en door de bedradingscapaciteiten. Het is daarom in de eerste plaats van belang de laatste zo klein mogelijk te houden, (korte verbindingen) en de spoelen L₁ en L₃ af te schermen, om te voorkomen dat het hoogfrequentiesignaal regelrecht van L₁ op L₃ wordt overgedragen.

Verder regelen is alleen mogelijk door de volgende transistor, TR₂, te gaan dichtdrukken. Deze moet de taak overnemen, zodra TR₁ is uitgeregeld. We doen dit door ook hier de emitterspanning op te voeren, echter via een weerstand R₆ die er voor zorgt dat de regeling pas begint bij grote signaalsterktes. Nu kunnen de spanningen op de antenne-ingang tot enkele volts oplopen voordat deze mengtransistor is uitgeregeld.

Voor zeer grote signalen is ook dit nog niet voldoende; dan moet de eerste MF-transistor TR₃ verder regelen. We doen dit door de emitter via een weerstand van 1 k Ω aan de regelspanning te leggen. Op deze wijze bereiken we dat geen van de transistors wordt overstuurd, zodat er een onvervormd middenfrequentiesignaal aan de detector verschijnt. De spanning daar blijft praktisch constant als de antennespanning varieert tussen 10 μ V en enkele volts.

Er wordt zogenaamde versterkte automatische volumeregeling toegepast. De spanning die achter de detector ontstaat wordt eerst door R₁₇ en C₁₄ ontdaan van alle midden- en laagfrequent-trillingen. Daarna wordt TR₅ er meer of minder mee geopend. Op de collector van TR₅ ontstaat een regelspanning die kan variëren tussen 0 en 5,5 V en die naar de emitters van TR₁, TR₂ en TR₃ wordt gevoerd. Met een voltmeter tussen de collector van TR₅ en de nul kan men controleren of de automatische volumeregeling goed functioneert en of men goed op de zender is afgestemd (afstemindicatie). Bij het trimmen van de middenfrequent-transformatoren en van de hoogfrequentkringen kan men hiervan veel gemak hebben.

Kort overzicht van de ontvangereigenschappen en reikwijdten

We hebben 5 ontvangertypen behandeld die allen hun voor en tegens hebben en die sterk verschillen in gevoeligheid. Vanzelfsprekend variëren daardoor ook de reikwijdten zeer veel.

Om hierin enig inzicht te krijgen hebben we een tabel samengesteld, waarin de reikwijdte van elke ontvanger is gemeten bij 2 verschillende ontvangantennes (een spriet van 50 cm en een van 1,25 m) en bij 3 verschillende zenders. De zenders die hierin worden genoemd komen voor in deel I, hoofdstuk 10. Ze waren alle 3 uitgerust met een CLC-antenne.

De meting is verricht op een lange weg zonder grote obstakels (foto 5), dus onder vrij gunstige omstandigheden. In bossen of in steden wordt de reikwijdte al gauw veel minder, omdat de radiogolven daar sterk worden geabsorbeerd, maar op water en in de lucht kan men grotere afstanden verwachten *).

De opgegeven afstanden in tabel III zijn de gemiddelde uitkomsten van een aantal proeven, want de ene keer meet men nu eenmaal anders dan de andere keer, omdat de omstandigheden niet altijd dezelfde zijn. Er zijn vele factoren

*) Zie "Radiogolven" door J.F. van Oort, Kluwer, Deventer.

TABEL III

Ontvanger- type	Eigenschappen	Gevoelig- heid	Reikwijdte					
			20 mW zender		100 mW zender		600 mW zender	
			ant. 50 cm	1,25 m	50 cm	1,25 m	50 cm	1,25 m
Diode-ont- vanger fig. 5	onselectief ongevoelig eenvoudig betrouwbaar	2,5 mV	12 m	20 m	25 m	40 m	50 m	100 m
rechttuit-ont- ontvanger fig. 7	onselectief matig gevoelig betrekkelijk een- voudig betrouwbaar	250 μ V	30 m	80 m	80 m	150 m	150 m	250 m
Superreg. fig. 8 en 37	onselectief vrij gevoelig eenvoudig redelijk be- trouwbaar veel ruis	25 μ V	150 m	250 m	250 m	500 m	400 m	600 m
Superreg. met voor- trap fig. 12	onselectief gevoelig betrekkelijk een- voudig vrij betrouwbaar veel ruis	5 μ V	250 m	400 m	350 m	700 m	700 m	1,2 km
Superhet fig. 15	selectief gevoelig gecompliceerd betrouwbaar weinig ruis	5 μ V	300 m	500 m	500 m	800 m	800 m	1,5 km

die hierin een rol spelen, zoals: vochtigheidsgraad van de lucht, batterijspanningen, hoe wordt de zender vastgehouden, vreemde zenders die de ontvangst benadelen, is de ontvanger geaard of niet, enzovoort. Met andere woorden, de tabel geeft alleen maar een indruk en meer niet. De uitkomsten van de ongevoelige ontvangers geven, wat dat betreft, meer houvast dan van de gevoelige. Bij deze laatste is de grens van de reikwijdte vrij vaag, omdat de stoor-signalen ons eigen signaal vertroebelen.

Wel moet men er van uitgaan, dat alles optimaal is getrimd.

TOONKANALENFILTERS

Het doel van de toonkanalen is in deel I reeds uitgebreid behandeld (hoofdstuk 2). We zullen ons nu gaan bezighouden met de taak en de werking van de filters, die voor het selecteren van de kanaalfrequenties dienen. Ze zijn als het ware de wissels waarmee de commando's van de zender op het juiste spoor worden gerangeerd. Om dit met succes te laten gebeuren is het nodig dat de tonen en de filters aan de volgende eisen voldoen:

- a. De resonantiefrequenties van de filters moeten nauwkeurig overeenstemmen met de toonfrequenties van de zenders.
- b. De sterktes van de tonen mogen onderling niet teveel verschillen. Hiervoor worden voldoende voorzorgen genomen in de automatische volumeregeling en eventueel in de begrenzer.
- c. De tonen mogen niet al te veel harmonischen bezitten. De toongenerator in de zender moet daarom een sinus opwekken en de ontvanger moet deze zo veel mogelijk onvervormd detecteren. Als extra voorzorg kiest men de hogere filterfrequenties tussen de frequenties van de harmonischen van de lagere, zodat de kans niet groot is dat een eventuele harmonische een filter zou passeren en een servo in werking zou stellen.
- d. Temperatuurvariati es mogen geen invloed hebben op de afstemmingen van de toongeneratoren in de zender en van de filters in de ontvanger. En indien dit toch het geval zou zijn, dan moeten ze allebei evenveel en naar dezelfde kant verlopen.
- e. Voedingsspanningsvariati es mogen geen afwijkingen tot gevolg hebben evenmin als het trillen van het model.
- f. Storingen ten gevolge van vonkvorming in de motoren of relais mogen niet de sterkte te boven gaan dat ze door de filters heendringen.

In deel I blz. 93 en 94 zijn de frequenties van de tonen gegeven, die bestemd zijn voor reedrelais en voor elektrische filters. Voor de eerste liggen ze ongeveer 2 à 4% uit elkaar en voor de tweede ongeveer 15 tot 20%.

Het reedrelais

In de geschiedenis van de radiobesturing is het reedrelais altijd een zeer geliefd filter geweest. Het is jammer dat het aan het uitsterven is, want het had vele voordelen ten opzichte van de elektrische filters. Vooral omdat men ze zelf kan maken en dat is iets waar iedere modelbouwer voor te porren is. Maar er zijn toch al weer tekenen van een comeback. Er zijn moderne personen-oproepsystemen die weer met filters zijn uitgerust waarvan de grote selectiviteit door trillende tongetjes wordt verkregen. Men ziet vaak in de techniek dat het oude terugkomt in een moderne versie. Hoe het ook zij, wij vinden het de moeite waard om het reedrelais te beschrijven.

Het wordt bij voorkeur toegepast waar veel kanalen nodig zijn en de beschikbare ruimte gering is. Er bestaan reedrelais met verschillend aantal tongetjes, 5 tot 20 of nog meer. Minder dan 5 komt weinig voor omdat er dan geen voordelen meer zijn ten opzichte van de elektrische filters. Het is wel duidelijk dat het veel wordt gebruikt in vliegtuigen, maar ook in andere modellen met weinig ruimte en waarin veel mechanische bewegingen voorkomen, zoals vorkheftrucks, brandweerauto's, bulldozers, draglines e.d.

Wanneer er elektrische filters in vliegtuigen worden gebruikt dan is men beperkt tot hoogstens 6, desnoods 8 kanalen. Want hoe meer kanalen, hoe kleiner de afstand tussen de tonen, des te scherper moeten de filters zijn; d.w.z. er zijn goede spoelen vereist en die hebben weer grote afmetingen en zijn zwaar. Zo zit men dan voor een compromis. Met het reedrelais is het aantal kanalen eigenlijk onbeperkt. Het heeft echter het bezwaar dat het niet zo betrouwbaar is als het elektrische filter en dat de eisen die men aan de toongenerator stelt hoog zijn vanwege de grote selectiviteit en de kleine toonafstand. De contacten

kunnen vuil worden of oxyderen en de tongetjes kunnen door sterke schokken in trilling komen zonder een commandotoon te ontvangen. Er staat weer een ander voordeel tegenover: men kan zien en horen wat er gebeurt.

Werking

De tongetjes van een reedrelais zijn van staal en worden in trilling gebracht door een wisselend magneetveld. Wanneer de frequentie waarmee het veld wisselt gelijk is of ten naaste bij gelijk is aan de resonantiefrequentie van één van de tongetjes, dan begint dit te trillen. En bij voldoende sterkte zal de uitslag groot genoeg zijn om een contact, dat op ongeveer 0,2 mm afstand van het tongetje is ingesteld, te raken. Een stroompje dat door dit trillende contact loopt, is in staat een schakeltransistor te openen die dan daarmee de weg vrij maakt voor het inschakelen van de bedoelde servomotor.

De maximale resonantiefrequentie van het tongetje ligt niet zo hoog, ongeveer 1000 Hz. Voor hogere frequenties wordt de uitslag te gering om met voldoende betrouwbaarheid het contact te raken. De selectiviteit ligt ongeveer bij 1%. De frequenties legt men 5 à 10% uit elkaar zodat het scheidingsvermogen ruim voldoende is. De frequenties van de tonen zelf, die door de toongenerator in de zender worden opgewekt, moeten zeer stabiel zijn om binnen deze 1% selectiviteit te blijven. Men rekent op een nauwkeurigheid van 0,5%, ook bij temperatuurvariaties van -10 tot +40 °C en voedingsspanningsvariaties van -10%. De tongetjes zijn voorzien van een laagje edelmetaal, zilver, goud of rhodium, evenals de contactpunten, om zeker te zijn van een goed contact.

De contactpunten moeten nauwkeurig worden ingesteld; de tongen voor lage tonen maken een grotere uitslag dan die voor de hoge. Wanneer het contact te dicht bij staat wordt het tongetje te veel gedempt. De selectiviteit wordt dan minder maar de gevoeligheid groter. Een compromis vindt men op een afstand van 0,2 à 0,3 mm.

Constructie

Het is niet de bedoeling dat we hier een complete bouwbeschrijving van het reedrelais geven omdat de constructie te veel afhangt van de afmetingen van de magneet die men voor dit doel denkt te gebruiken. Meestal wordt die magneet ergens uitgesloopt, b.v. uit een speelgoedmotortje of een magnetisch deurslot en dan heeft een maatschets weinig zin meer.

In figuur 16 is het reedrelais geschetst. De tongetjes zijn gemaakt van een horlogeveer, die eerst netjes recht wordt gemaakt en daarna in stukjes van ongeveer 35 mm lengte wordt geknipt. De lengte hangt af van de tonen waarop ze moeten resoneren en van de dikte en de breedte van de veer. Daarom doet men

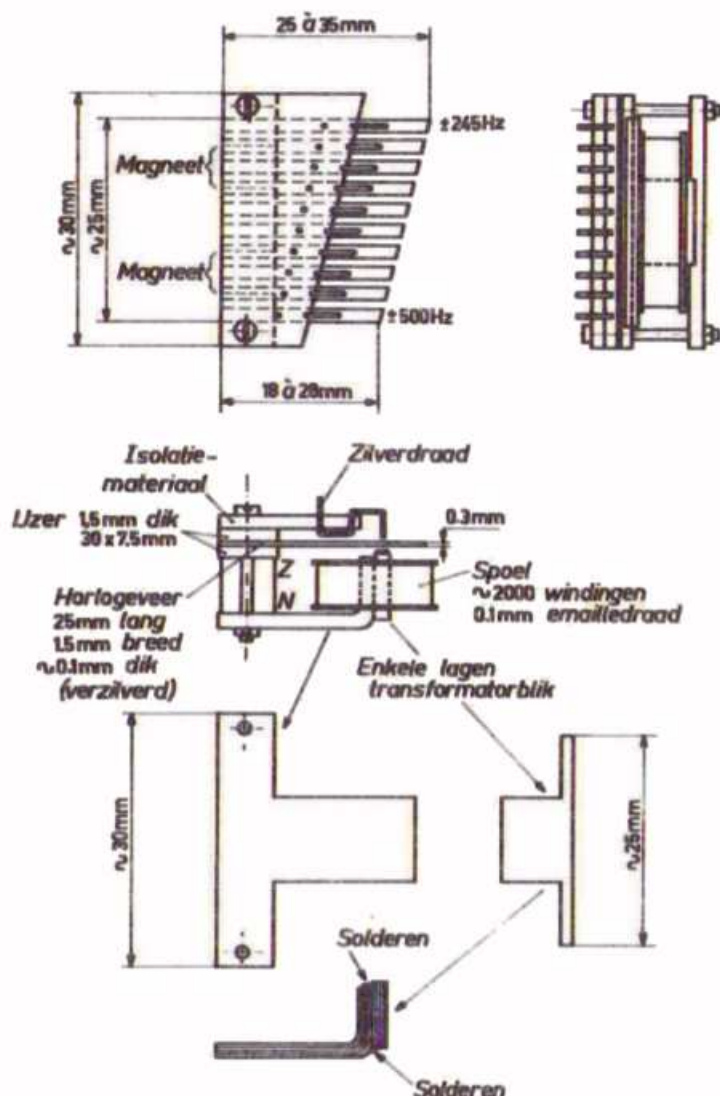


Fig. 16 Constructie van het reedrelais

het beste om ze op een vrij grote lengte af te knippen en ze later op de juiste maat bij te werken.

Ze worden aan één kant tussen 2 strookjes ijzer geklemd van ongeveer $1\frac{1}{2}$ mm dik en 7,5 mm breed en vastgesoldeerd. De veertjes moeten goed worden schoongemaakt en verzilverd of nog beter verguld.

Over de magneet is maar weinig te zeggen. Men kan één magneet nemen die ongeveer 50 mm breed is of b.v. 2 kleinere zoals in de schets is aangegeven. De hoogte van de magneet, dus de afstand tussen noord- en zuidpool moet bij voorkeur niet te groot zijn, b.v. 5 à 10 mm. De verdere delen moeten daaraan worden aangepast. Het magnetisch juk kan worden gemaakt van een stukje plaatijzer van b.v. 2 mm dikte. Beter is het om een paar laagjes transformatorblik te nemen van 0,5 mm dikte. Er zijn 2 delen die aan elkaar worden gesoldeerd nadat eerst de spoel op zijn plaats is geschoven. Het kleine deel is aan de bovenzijde net zo breed als de totale breedte van de veertjes. Er moet ongeveer 0,5 mm ruimte zijn tussen de veertjes en dit juk.

De spoelvorm wordt gemaakt van plastic of gewoon van karton; er moeten ongeveer 2000 windingen op.

De contacten worden gemaakt van zilverdraad of van verzilverd koperdraad van ongeveer 1 mm $\emptyset$. Ze worden door gaatjes gestoken zoals de tekening aangeeft en daarna met araldite vastgelijmd. De contactafstand tot de veertjes is ongeveer 0,3 mm maar bij de hogere frequenties iets minder.

Het geheel wordt stevig tegen elkaar geschroefd en dan begint de afregelprocedure. De spoel wordt aangesloten op een toongenerator om de tongetjes te laten trillen. Ze worden op de juiste lengte geknipt en daarna afgeslepen tot dat de resonantiefrequenties kloppen met de frequenties die in de tabel zijn opgegeven, op blz. 94 deel I. Indien er iets te veel is afgeslepen dan kan dit worden gecorrigeerd met een druppel soldeertin op het uiteinde van de veer.

Tot besluit moeten dan de zilveren contactdraden zodanig worden verbogen dat ze net de tongetjes raken als ze fel trillen.

Op foto 6 zijn een paar reedrelais te zien.

Op foto 7 wordt getoond hoe klein men een complete superheterodyne ontvanger met reedrelais kan bouwen.

De schakeling van het reedrelais

Er zijn 2 soorten schakelingen, één met een relais in de uitgang en de ander met een transistor. In figuur 17 is een relaisschakeling in zijn eenvoudigste vorm weergegeven en in figuur 18 een transistorschakeling.

De werking van de eerste is als volgt:

Zodra het tongetje *r* in trilling geraakt, zal er een wisselend contact tussen *r* en *s* ontstaan, waardoor condensator *C*₁ positief wordt opgeladen. Hierdoor opent de transistor *TR*₁ en het relais trekt aan. Wanneer het tongetje weer tot rust komt zal *C*₁ zich over *R*₂, *R*₃ en het basis-emitterdeel van *TR*₁ ontladen en de transistor blokkeert weer. Er is natuurlijk enige tijd nodig voor het laden, respectievelijk ontladen van *C*₁, maar deze vertraging is zo gering dat men er nauwelijks iets van merkt. De weerstand *R*₁ dient om de laadstroom naar *C*₁ te begrenzen om inbranden van de contacten *r* en *s* te voorkomen.

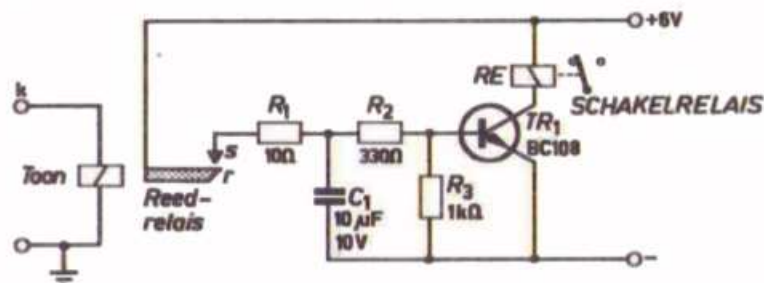


Fig. 17 Schakeling met reedrelais voor éénkanaalservo (relaisuitgang)

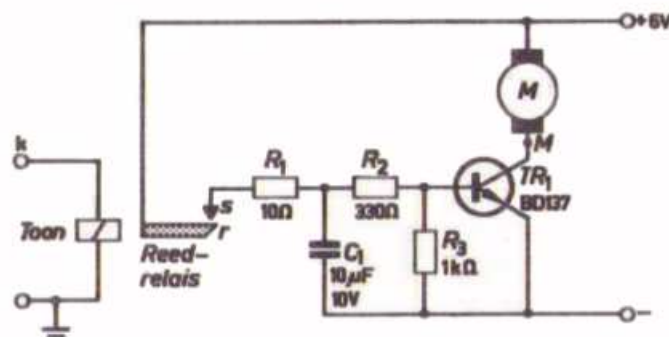


Fig. 18 Schakeling met reedrelais voor een elektromotor of escapement (transistoruitgang)



Foto 15. Deze modellen van de heer Grauwelman hebben met hun drieën één zender. Er zijn drie toonkanalen, twee voor links en rechts en een voor vooruit, stop en achteruit (zie fig. 32).

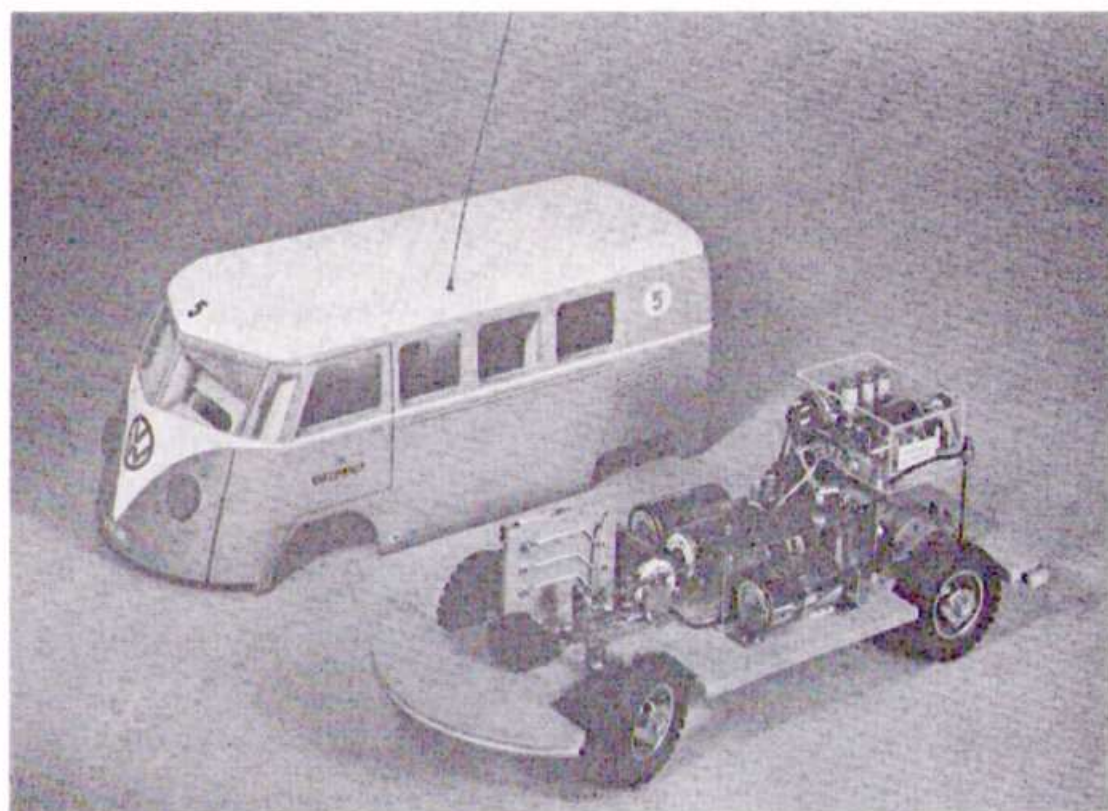


Foto 16. Inwendige van de auto van foto 15. De stuurinrichting bestaat uit een stuk schroefdraad (aan de einden is een stukje gladgevijs) dat door een motortje wordt aangedreven. Een moer verplaatst zich en bedient via een hefboom de voorwielen. Aan de einden glijdt de moer van de schroefdraad af maar blijft er door een slappe spiraalveer tegenaan gedrukt zodat bij het terugdraaien de moer weer pakt.



Foto 17.
De „Bellamatic”
van Graupner; een
mechanisch niet-
neutraliserende servo.

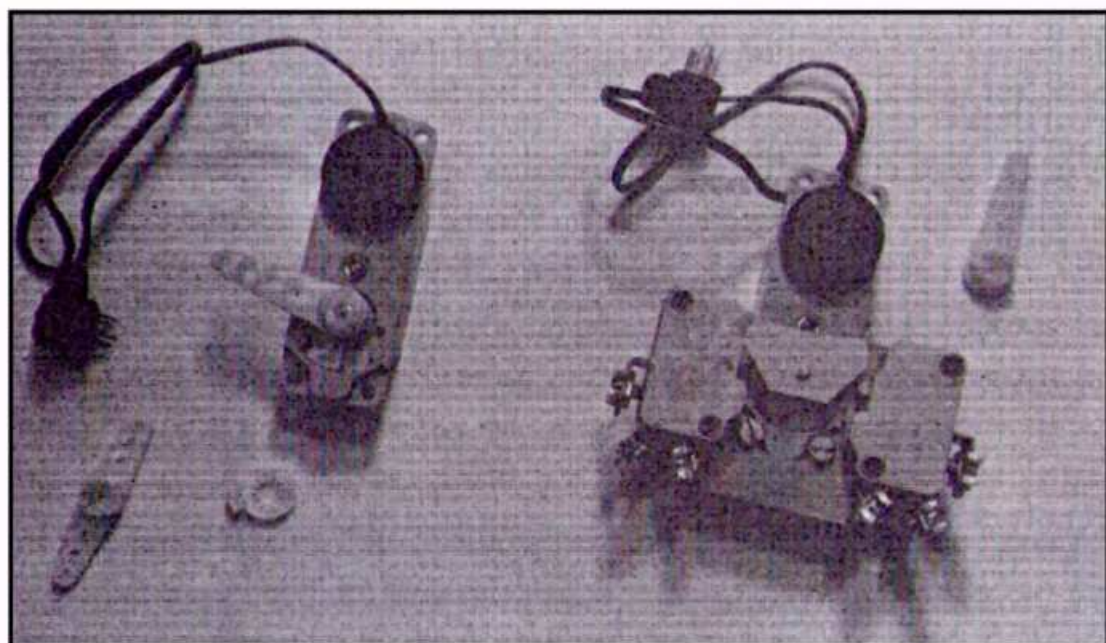


Foto 18. Links: de „Servo automatic” van Graupner, een mechanisch niet-neutraliserende servo, rechts: dezelfde servo uitgebreid met twee microschakelaars.

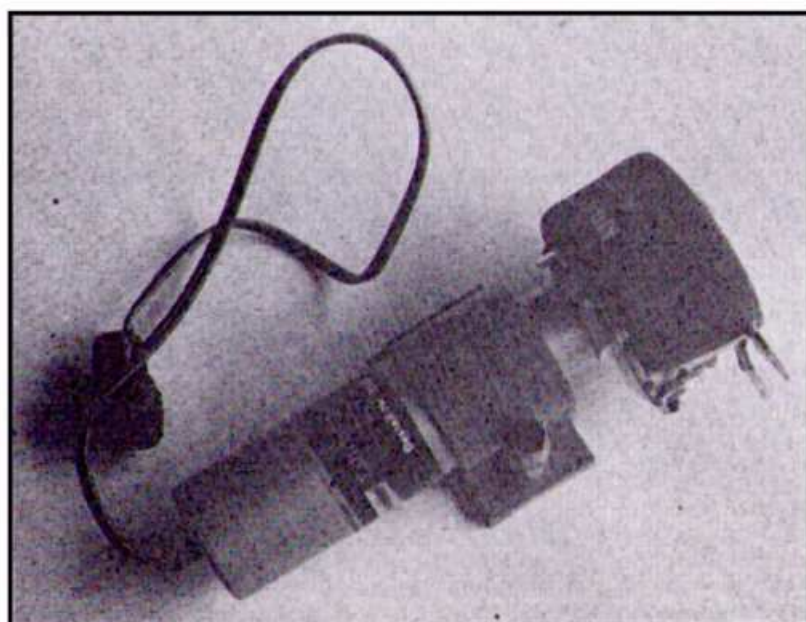


Foto 19.
Snelheidsregelaar
met een
niet-neutraliserende
servo (Graupner).

Toen er nog geen transistors waren schakelde men met het reedrelais direkt het relais RE, maar dit vergde vrij veel van de contacten van het reedrelais, die daardoor snel waren geoxydeerd. De transistor met zijn stroomversterking gaf hier uitkomst omdat nu de te schakelen stroom door r en s ruim 100 x kleiner is, waardoor de contacten het eeuwige leven krijgen.

De transistorschakeling van figuur 18 laat zien hoe met één krachttransistor direkt een motor kan worden geschakeld. De transistor moet in dit geval in staat zijn de motorstroom te verdragen; maximaal rekent men op 1A voor een lichte stuurmotor. Een AC 187 of BD 137 is hiervoor het meest geschikt. De stroom zal ongeveer 5 mA zijn, hetgeen voor de contacten r en s geen noemenswaardige belasting is.

Door het feit dat een relais uitgerust is met één of meerdere omschakelcontacten, kunnen we met de schakeling van figuur 17 meer doen dan met die van figuur 18, waar alleen maar een transistor open en dicht gaat. Vandaar, dat met de laatste schakeling hoogstens een elektromotor of een escapement kan worden bediend, terwijl figuur 17 geschikt is voor het schakelen van een éénkanaalservo zoals de kinematic, de Metz-mecatron 190/18 of de schakelwals Polumat 184/1 e.d. (zie hoofdstuk 8).

Elektrische filters

De elektrische filters werken over het algemeen het beste in een frequentiegebied dat boven 750 Hz ligt, terwijl het reedrelais juist beneden deze frequentie het beste werkt. Wanneer er extra veel kanalen nodig zijn maakt men soms een combinatie van beide, waarbij het tongenrelais het gebied van 300 tot 750 Hz voor zijn rekening neemt en de elektrische filters het gebied van 750 Hz tot 6000 Hz.

De elektrische filters werken bedrijfszekerder dan het reedrelais, zodat men ze de laatste jaren steeds meer toepast. Met het tegenwoordige kernmateriaal is het mogelijk om resonantiekringen te maken van zeer goede kwaliteit en be-

trekkelijk kleine afmetingen. Het is wel niet mogelijk de selectiviteit van het reedrelais te halen, (1%), maar dat heeft ook zijn voordelen, omdat daardoor de eisen voor de toongenerator in de zender minder streng kunnen zijn. Men rekent meestal op een selectiviteit van 10% en legt de kanalen 20% uit elkaar. Bij voorkeur gebruikt men voor de resonantiekringen in de zender en in de ontvanger dezelfde soort onderdelen, omdat het eventuele verloop ten gevolge van temperatuursverschillen dan dezelfde kant op is gericht. Tenminste, als de temperatuur dezelfde afwijking heeft en dat hoeft niet altijd zo te zijn. Een ontvanger in een vliegtuig, hoog in de lucht, zal het heel wat kouder hebben dan de zender op de grond. Daarom raden wij altijd aan de resonantiekringen af te stemmen met polysterene condensatoren die een negatieve temperatuurcoëfficiënt hebben terwijl de potkernen ongeveer eenzelfde positieve temperatuurcoëfficiënt hebben.

We zullen er naar moeten streven de selectiviteit zo hoog mogelijk op te voeren zonder dat de stabiliteit in gevaar komt. Een grote selectiviteit verkrijgt men met grote potkernen zonder luchtspleet. Maar dat betekent meestal te veel gewicht en ruimte. Bovendien worden door het ontbreken van een luchtspleet de toleranties te groot.

Als compromis vinden we dan voor vliegtuigen potkernen met diameter 18 mm en dikte 11 mm en met een luchtspleet, die een μ_{eff} geeft van 220 (zie deel I, blz. 104). Voor boten nemen we ze iets groter, b.v. 22/13, eveneens met een luchtspleet voor $\mu_{\text{eff}} = 220$.

Aan de hand van het voorbeeld uit deel I, blz. 105 kan men voor elke potkern de windingsgetallen uitrekenen.

We geven hier de resultaten van onze berekeningen, die gemaakt zijn voor kringen met afstemcondensatoren van 10 nF. Deze zijn n.l. gemakkelijk verkrijgbaar (tabel IV). Zoals reeds ter sprake kwam, verdient de polysterene condensator de voorkeur, vanwege zijn temperatuurcoëfficiënt, zijn lage verliezen en geringe ouderdomsverschijnselen. Maar elke andere condensator kan ook wel.

TABEL IV

Aantal windingen voor potkernen 18/11 met $\mu_{\text{eff}} = 220$

Kanaal	Aantal windingen	Draaddikte	Afstemcondensator	Resonantiefrequentie
1	2140	80 μ	20 nF	750 Hz
2	1780	80 μ	20 nF	900 Hz
3	1550	0,1 mm	20 nF	1080 Hz
4	1350	0,1 mm	20 nF	1320 Hz
5	1700	0,1 mm	10 nF	1610 Hz
6	1400	0,1 mm	10 nF	1970 Hz
7	1000	0,14 mm	10 nF	2350 Hz
8	800	0,14 mm	10 nF	2940 Hz
9	700	0,14 mm	10 nF	3580 Hz
10	580	0,14 mm	10 nF	4370 Hz
11	500	0,16 mm	10 nF	5310 Hz
12	400	0,16 mm	10 nF	6500 Hz

De draaddikte is niet belangrijk. Men neemt bij voorkeur de draad zo dik mogelijk, om de ohmse verliezen laag te houden. Maar indien dit moeilijkheden oplevert, kan ook overal 0,1 mm draad worden gebruikt behalve voor de kanalen 1, 2 en 3, waarvan de spoelruimte te klein is.

Zoals uit de schema's 19 en 20 blijkt, is in serie met de kringen een instelpotmeter R_1 opgenomen met de bedoeling de resonantiepieken van alle kringen even groot te maken.

We moeten er wel op letten dat de pieken niet te breed worden. De weerstand moet daarom zo groot mogelijk gehouden worden, m.a.w. de instelling moet zó zijn, dat het betreffende kanaal nèt aanspreekt als de toon voor dit kanaal binnenkomt.

De schakeling van het elektrische filter

We geven ook hier weer twee mogelijkheden: één met een relais en één met een schakeltransistor.

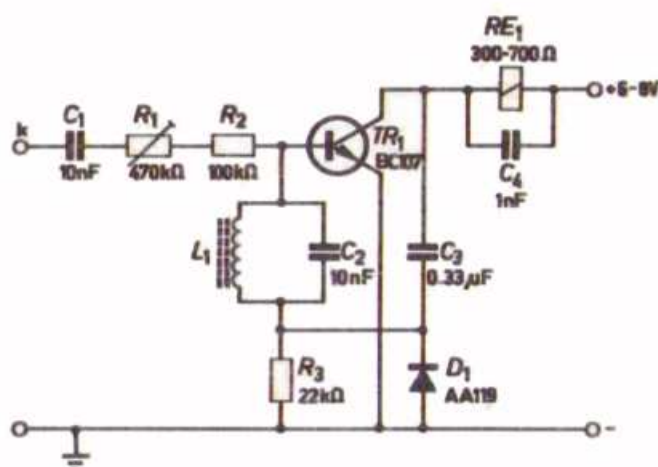


Fig. 19 Schakeling met elektrisch filter voor éénkanaalservo (relaisuitgang)

De eerste is afgebeeld in figuur 19. De toonfrequenties komen via C_1 en de weerstanden R_1 en R_2 terecht op het filter $L_1 - C_2$. Is de binnenkomende frequentie dezelfde als de resonantiefrequentie van dit filter, dan zal, als de spanning groter is dan 0,5 V de transistor TR_1 gaan geleiden. De toppen van de wisselspanningen die dan in het collectorcircuit ontstaan worden door D_1 gelijkgericht, zodanig dat er een positieve spanning over D_1 komt te staan, die via L_1 weer naar de basis wordt teruggevoerd. De transistor zal zich daardoor verder openen en meer gaan versterken. De wisselspanning in de collectorleiding wordt groter en daarmee de gelijkgerichte spanning over D_1 . Er treedt een soort lawine-effect op, dat tot gevolg heeft een snel opengaan van TR_1 . Het relais trekt aan.

Zodra het kanaal weer wordt uitgeschakeld valt de wisselspanning op de collector van TR_1 weg en daarmee verdwijnt de positieve spanning over D_1 , en dus ook op de basis, waardoor de transistor weer blokkeert.

De schakeling met de transistoruitgang is in figuur 20 gegeven. De collector van TR_1 is nu via een weerstand R_4 van 1 kΩ met de eindtransistor gekoppeld. Zodra deze spanning zakt gaat TR_2 open en de motor draait. De keuze van transistor TR_2 hangt af van het type motor dat men gaat gebruiken. Een BD 138 of een AC 188 zal voor de meeste gevallen sterk genoeg zijn: maximale stroom is 1 A.

Ook hier geldt wat bij figuur 17 en 18 werd vermeld, dat de relaisuitgang

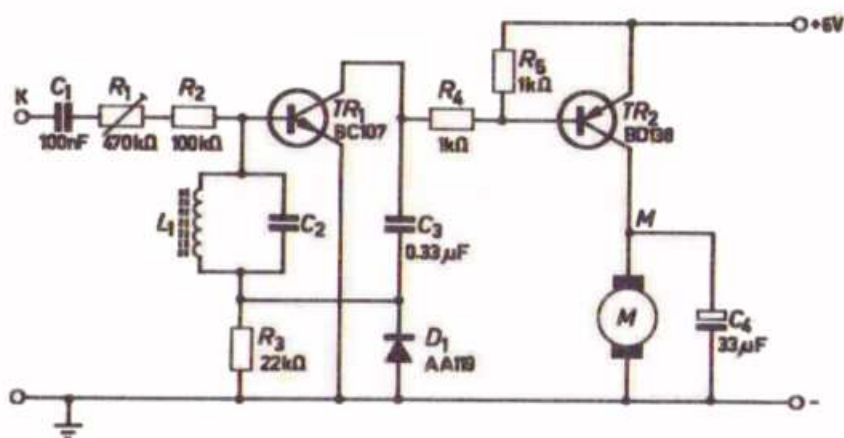


Fig. 20 Schakeling met elektrisch filter voor elektromotor of escapement (transistoruitgang)

meer mogelijkheden biedt door de aanwezigheid van één of meerdere omschakelcontacten, waardoor alle éénkanaalservo's kunnen worden gebruikt, terwijl voor figuur 20 alleen een elektromotor of het escapementprincipe van toepassing is.

Voor de elektronische besturing van de eenkanaalservo, zie de beschrijving van de Metz Mecatronic I, blz. 81.

HET SCHAKELLEN VAN DE SERVOMOTOREN

De commandotoon die het betreffende filter is gepasseerd moet de servomotor in werking stellen. Dit kan gebeuren met een relais of met een schakeltransistor. Beide methodes hebben hun voor- en nadelen.

Een relais is over het algemeen groter en zwaarder dan een transistorschakeling, maar daar staat tegenover, dat een relais laat zien wat hij doet en dit is toch wel een zeer aantrekkelijk voordeel. Verder heeft het relais de mogelijkheid meerdere contacten tegelijk te schakelen en dat is met transistors moeilijk te realiseren. Nóg een pluspunt voor het relais is dat de overgangsweerstand tussen de contacten te verwaarlozen is, terwijl de germaniumtransistor altijd ongeveer 0,1 V spanningsverlies geeft en een siliciumtransistor ongeveer 0,3 V. Voor een servomotor die 1A opneemt betekent dit een vermenigverlies van 0,3 W.

Maar de betrouwbaarheid van het relais is niet te vergelijken met die van de transistor. Wanneer men bedenkt dat de meest verantwoordelijke opdrachten waar mensenlevens van afhangen, aan een computer worden toevertrouwd, waarbij duizenden transistors betrokken zijn, dan is het wel duidelijk dat aan de betrouwbaarheid van de transistor niet meer te twifelen valt. Met relais zou dit ten ene male een onmogelijkheid zijn. In vroeger jaren heeft men wel eens getracht een computer te maken met relais, maar dat eindigde in een groot fiasco.

Een 10-kanalenontvanger bevat 10 relais, ieder met minstens 3 contacten en dat geeft al zorgen genoeg. Geen wonder dat de transistor de aangewezen schakelaar voor afstandbesturing is geworden.

Er zijn tegenwoordig zoveel typen transistors in de handel dat er voor elk doel wel één is te vinden. Men dient een paar punten goed in het oog te houden:

- a. De te schakelen stroom moet ver beneden de opgegeven limietwaarde liggen. Kortsluitingen kunnen funest zijn.
- b. De inductiespanningen, die bij het verbreken van de stroom kunnen optreden, bedragen vaak vele tientallen volts en overschrijden de toegestane collector-emitterspanning.
- c. De transistor moet bij het schakelen geheel open of geheel dicht zijn; tussenstanden veroorzaken te veel vermogensverlies, waardoor hij te warm wordt.

Deze regels zijn voor relais evengoed van belang. De contactpunten branden gemakkelijk in als de stromen te groot zijn en de contactdruk te gering is. Contactvervuiling kan ook optreden als de inductiespanningen te hoog zijn.

Het voordeel van het relais is weer, dat men kan zien dat er iets mis is en dat de beschadiging meestal wel te verhelpen is hetgeen van de transistor niet gezegd kan worden.

De inductiespanningen zijn vrijwel onschadelijk te maken door parallel aan de relaiscontacten (of aan de transistor) een diode of een condensator met seriële weerstand te schakelen. Dit heeft tevens nog het voordeel dat de radiostoringen in toom gehouden worden.

Het gebeurt niet zelden dat een relais blijft klapperen ten gevolge van zijn eigen storingen die op de ontvangeringang terugwerken.

Relaisschakeling met reedrelais voor 2-kanalenservo

In principe kan een 2-kanalenservo worden geschakeld door de schakeling van figuur 17 of 18 te verdubbelen. Maar aangezien een 2-kanalenservo naar links en naar rechts kan draaien moet er een vergrendeling in het circuit worden opgenomen om te voorkomen dat de motor voor 2 richtingen tegelijk stroom krijgt.

In figuur 21 is het schema voor een 4-kanalenunit gegeven, waarin de eerste 2 kanalen een (niet)-mechanisch neutraliserende servo bedienen en de andere

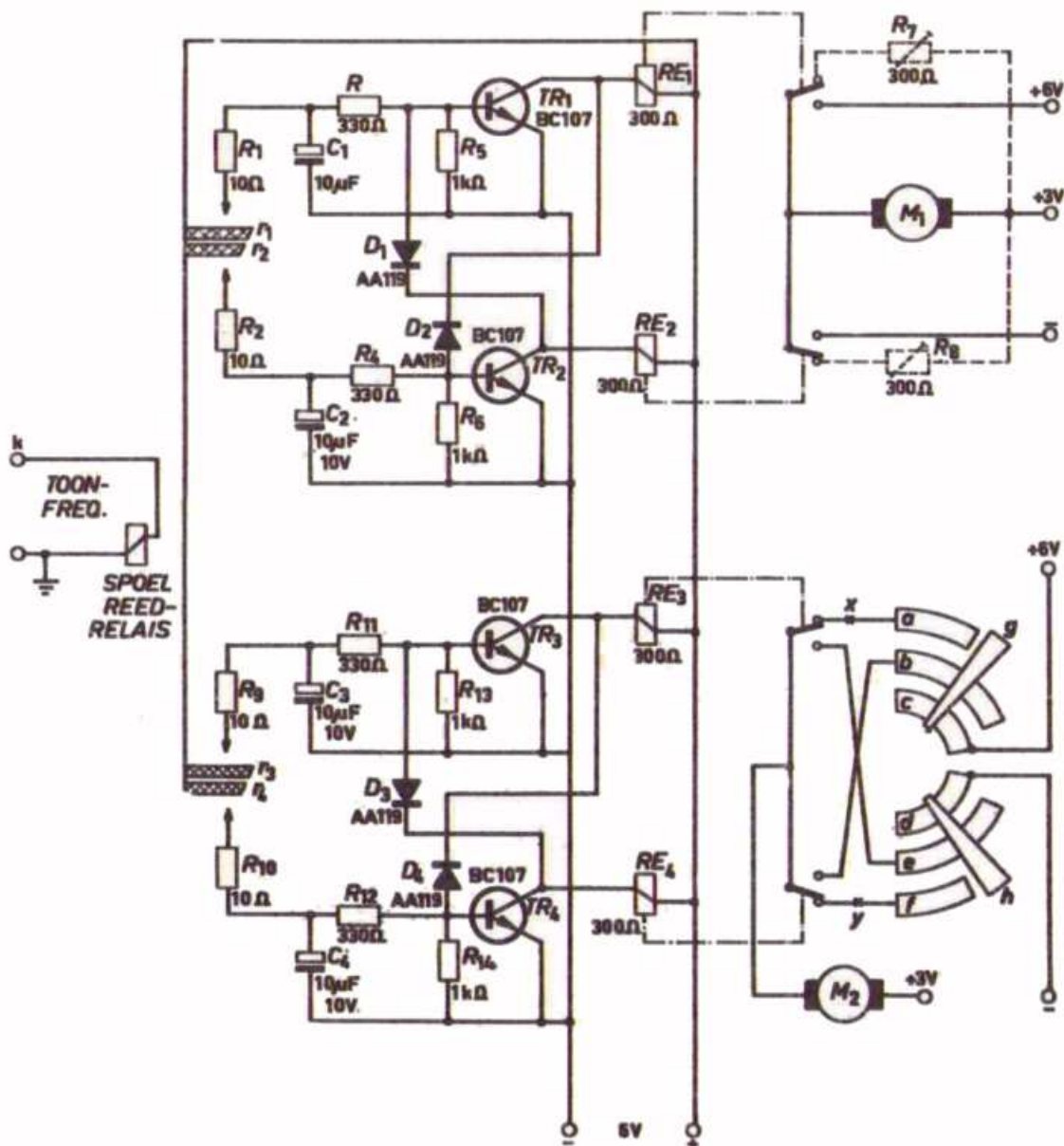


Fig. 21 Schakeling met reedrelais voor tweekanalservo, mechanisch en elektrisch neutraliserend (relaisuitgang)

2 kanalen een elektrisch neutraliserende servo. De 2 bij elkaar behorende kanalen zijn onderling beveiligd door de diodes D1 en D2, respectievelijk D3 en D4, die er voor waken dat er geen 2 relais tegelijk kunnen intrekken. Zodra transistor TR1 geleidt, is zijn collectorspanning zeer gering en zal elke positieve spanning op de basis van TR2 via D1 en via het collector-emitterdeel van TR1 naar de minleiding wegvloeien. Hierdoor zal dus TR2 niet de kans krijgen zich te openen.

Wanneer nu b.v. tongetje r_1 gaat trillen, wordt TR_1 geleidend en relais RE_1 trekt aan. Hierdoor wordt de motor M_1 met de +6 V verbonden. De motor gaat draaien en als hij in zijn eindstand is aangeland blijft hij doordraaien tegen een slipkoppeling in (zie ook hoofdstuk "Servomotoren"). Tot het moment waarop het kanaal wordt uitgeschakeld en het relais weer afvalt. De motor wordt door zijn veer weer naar de neutrale stand teruggetrokken. Terwijl dit gebeurt werkt de motor als dynamo en wekt een spanning op. Dit kan ons van nut zijn, want door het aanbrengen van de dempweerstand R_7 (gestippeld), die men meestal instelbaar maakt, is het mogelijk de snelheid van terugdraaien te verminderen waardoor wordt voorkomen dat de motor bij het bereiken van zijn neutrale stand gaat uitslingeren.

Indien de batterij geen middenaftakking heeft kan men gebruik maken van de relaisschakelingen van figuur 22 of figuur 23. De germanium diodes D_1 en D_2 van figuur 22 zijn nodig omdat, indien het een doorverbinding was, de demping te veel zou worden, waardoor de servo te langzaam naar zijn neutrale stand zou draaien. Met R_1 is de snelheid van terugdraaien en de mate van uitslingeren in te stellen.

Om aan te geven hoe een elektrisch neutraliserende servo moet worden geschakeld hebben we de andere 2 kanalen daarmee uitgerust. Komt b.v. relais

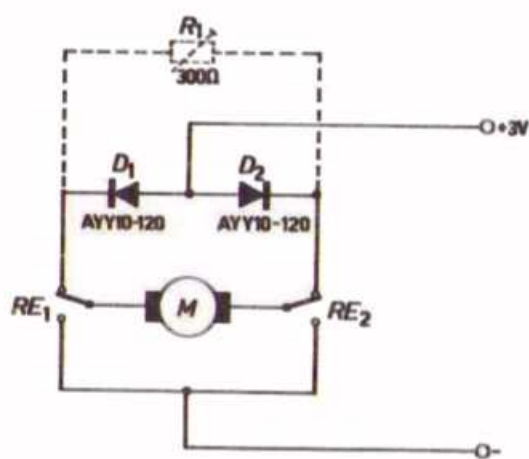


Fig. 22 Schakeling van een servomotor door twee relais, ieder met één omschakelcontact voor één voedingsspanning

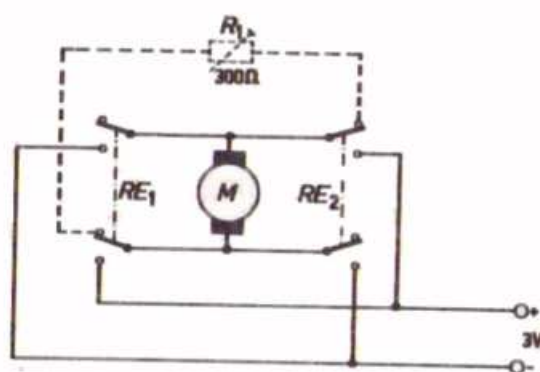


Fig. 23 Schakeling van een servomotor door twee relais, ieder met twee omschakelcontacten voor één voedingsspanning

RE₃ in, dan loopt er een stroom vanaf +3 V via motor M₂, contactbaan e, looper h en contactbaan d naar de min van de batterij. De lopers g en h draaien dan linksom tot de eindstand waarbij looper h van contactbaan e afglijdt. De stroom wordt verbroken en de motor stopt. Zodra het relais weer afvalt ontstaat er een stroomketen vanaf +6 V via contactbaan c, looper g, die helemaal naar links was gedraaid, neutraliseringscontactbaan a, en motor M₂ naar +3 V, zodat de stroom tegengesteld is gericht en de motor weer naar zijn neutrale stand terugdraait.

Het neutraliseren kan worden uitgeschakeld door de verbindingen x en y te verbreken. Op eenvoudige wijze verandert men zo de elektrisch neutraliserende servo in een niet neutraliserende servo.

Het bezwaar van deze wijze van schakelen is dat de volledige motorstroom over de contactbanen loopt en dat kan spoedig inbranden tot gevolg hebben. Wil men dit vermijden, dan is het beter een transistorschakeling te gebruiken zoals aangegeven is in figuur 25.

Transistorschakeling met reedrelais voor 2-kanalenservo

We geven 2 schema's, waarvan het éne bestemd is voor mechanisch neutraliserende servo's (fig. 24) en het ander voor elektrisch neutraliserende servo's (fig. 25). Het eerste schema bevat 3 transistors waarin TR₂ en TR₃ de schakel-

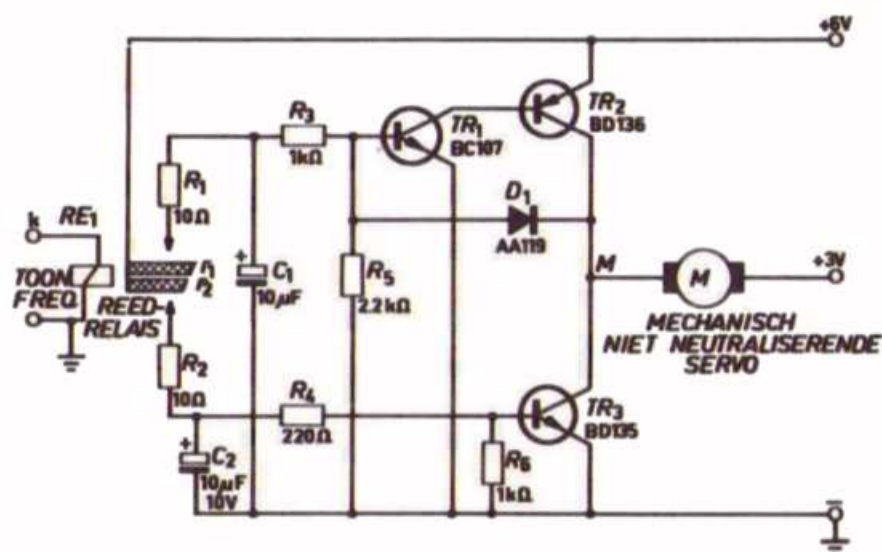


Fig. 24 Schakeling met reedrelais voor mechanisch niet neutraliserende servomotor (transistor-uitgang)

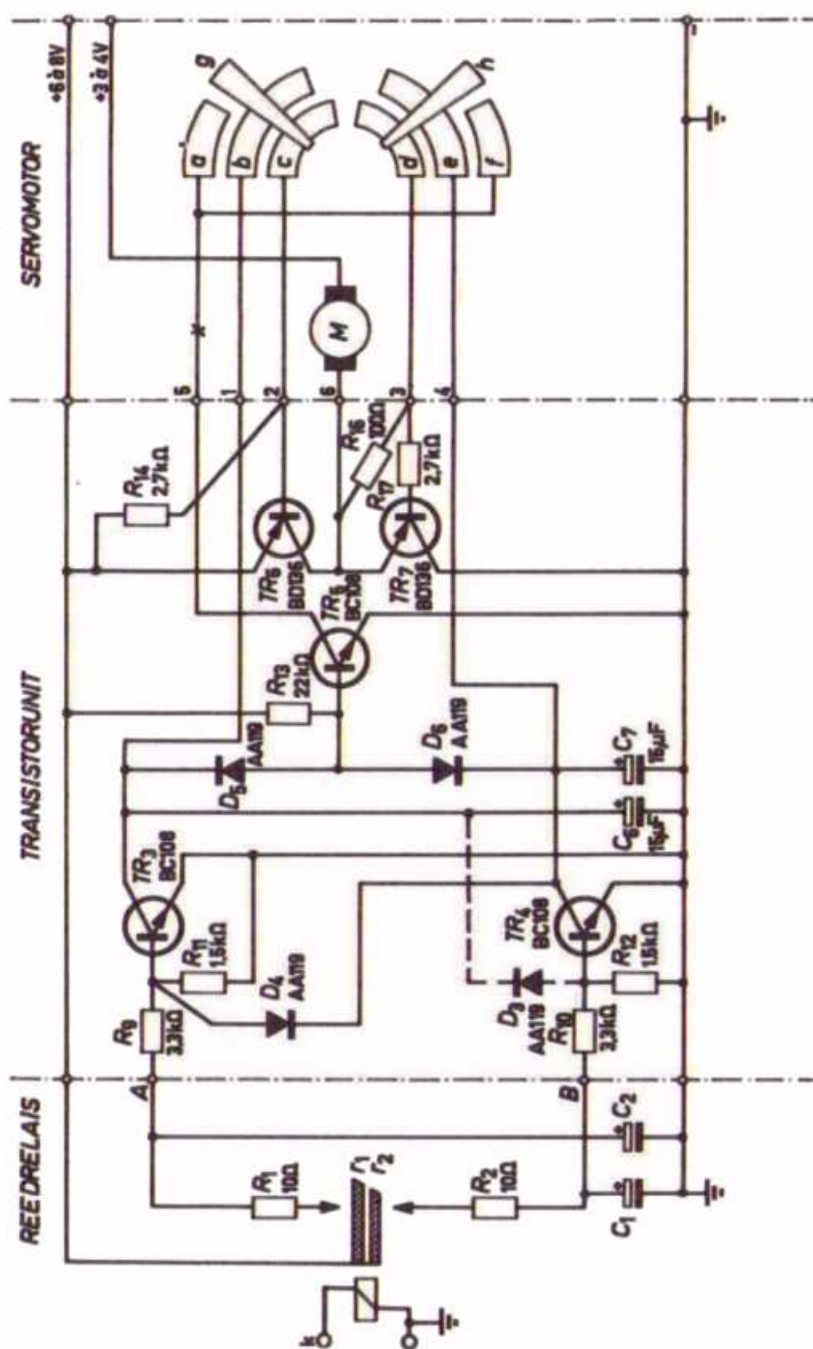


Fig. 25 Schakeling met reedrelais voor mechanisch en elektrisch neutraliserende servomotor (transistoruitgang)

transistors voor de motor zijn, en TR₁ een omkeertransistor is om de positieve spanning, afkomstig van het reedrelais, te veranderen in een negatieve spanning, die nodig is om TR₂ te openen.

Ook hier is een beveiliging ingebouwd, die wordt verzorgd door diode D₁. Indien tongetje r₁ gaat trillen zal de transistor TR₃ ten gevolge van de positieve spanning op de basis gaan geleiden, met het gevolg dat de motor M gaat draaien. Het zou een ramp betekenen als nu ook TR₂ om de een of andere reden zou gaan geleiden, want dan vormen TR₂ en TR₃ een kortsluiting en dat is dan meestal het einde van beide transistors. De aanwezigheid van D₁ voorkomt dit omdat, als TR₃ geleidt, zijn collectorspanning zeer gering is waardoor elke positieve spanning op de basis van TR₁ via D₁ en TR₃ naar de min wegvloeit, zodat dan TR₁ en TR₂ geblokkeerd blijven. Zouden nu beide tongetjes toch tegelijk trillen, dan zou alleen TR₃ openen, m.a.w.: D₁ geeft aan TR₃ de voorkeur.

Het tweede schema, dat zowel voor elektrisch als voor mechanisch neutraliserende servo's bestemd is, geeft een 2-kanalenschakeling. Voor de mechanische servomotor is hij eigenlijk te gecompliceerd, want daarvoor is het eenvoudiger schema van figuur 24 voldoende, maar het feit, dat de unit voor alle soorten servomotoren kan worden gebruikt kan voordeel hebben wanneer beide in één model voorkomen. De schakeling bestaat uit 3 delen:

1. Reedrelais
2. Transistorunit
3. Servomotor

De werking is als volgt:

De positieve spanning, die een trillend tongetje van het reedrelais, b.v. r₁, op de basis van TR₃ (punt A), afgeeft, zal deze transistor openen.

Zijn collectorstroom loopt over de contactbanen b en c, die door de looper g zijn doorverbonden, naar de basis van TR₆. Deze transistor opent eveneens en verbindt de motor met de plus 6 V. De motor draait de lopers g en h rechts om totdat de looper g van de contactbaan b afglijdt. De basisleiding naar TR₆ wordt verbroken en de motor stopt. Deze eindtoestand blijft gehandhaafd zolang

het tongetje r1 blijft trillen, dus zolang het betreffende kanaal ingeschakeld staat. Zodra men echter het kanaal uitschakelt komt het tongetje tot rust; de positieve spanning op punt A valt weg en transistor TR3 blokkeert. Maar dan zal TR5 gaan geleiden, omdat zijn basis via R13 positief wordt. Gedurende de tijd dat het kanaal was ingeschakeld vloeide deze positieve spanning via D5 en TR3 weg naar de minleiding en dus bleef TR5 geblokkeerd. Dit geldt ook voor het geval dat r2 trilt en TR4 geleidt, waardoor de basis van TR5 via D6 zijn positieve spanning verliest.

Wanneer r1 ophoudt met trillen wordt TR5 geleidend en zal zijn collectorstroom over baan f, looper h en contactbaan d naar de basis van TR7 vloeien. Dan geleidt deze transistor en de motor M wordt met de minleiding verbonden met het gevolg dat hij in tegengestelde richting gaat draaien. Totdat de neutrale stand weer wordt bereikt, want dan verbreekt de verbinding tussen contactbaan f en looper h, waardoor TR7 weer blokkeert. Zo zijn we weer op ons uitgangspunt terug.

Het is wel duidelijk, dat, wanneer we de verbinding van de contactbanen a en f bij punt 5 (kruisje) verbreken, de servo niet zal neutraliseren waardoor de zelfneutraliserende servo in een niet-neutraliserende servo is te veranderen.

Gebruiken we deze transistorunit in combinatie met een mechanisch neutraliserende servo, dan moeten de punten 1 met 2 en 3 met 4 worden doorverbonden (zie figuur 28). Om te verhinderen dat beide eindtransistors tegelijk openen, wanneer b.v. door een storing beide tongetjes r1 en r2 tegelijk trillen, is de beveiligingsschakeling met de diodes D3 en D4 aangebracht. Evenals bij de voorgaande schakeling hebben deze diodes de taak om TR3 te blokkeren als TR4 geleidt en omgekeerd. Het tongetje dat het sterkste trilt is overwinnaar. Men kan b.v. ook D3 weglaten; dan is altijd tongetje r1 de overwinnaar.

Het is wel duidelijk dat het voordeel van deze schakeling ligt in het feit dat de contactbanen van de servomotoren slechts de geringe basisstromen van TR6 en TR7 behoeven te schakelen, hetgeen de betrouwbaarheid en de levensduur ten goede komt. De ingangen A en B kunnen zowel worden aangesloten op een

reedrelais als op de uitgang van een unit met elektrische filters (fig. 28).

De Amerikaanse fabriek Bonner brengt servomotoren in de handel waarbij de gehele transistorunit is ingebouwd en alleen de punten A en B en de batterij met middenaftakking behoeven te worden aangesloten. Deze servo's dragen de naam: "Bonner Transmite". Zonder de transistorunit zijn ze ook verkrijgbaar en heten dan "Bonner Duramite" (zie foto 20).

Relaisschakeling met elektrische filters voor 2-kanalenservo

Het eerste deel van de schakeling is gelijk aan dat van fig. 19. Door de toevoeging van het 2^e kanaal verandert dit schema enigszins, omdat er een beveiliging nodig is, die moet voorkomen dat beide kanalen tegelijk ingaan. De werking ervan is als volgt (fig. 26):

Zodra TR₁ gaat geleiden daalt zijn collectorspanning tot ongeveer 1 V. Op het verbindingspunt van de spanningsdelen R₅ - R₆ zal dan een spanning staan van ongeveer 1/6 V. Wanneer nu de spanning op het verbindingspunt van R₈ - R₉ hoger wordt dan 1/6 V zal de diode D₃ gaan geleiden en het surplus laten wegvloeien van D₃ en D₆ naar de min. Hierdoor wordt de weg naar de basis van TR₂ geblokkeerd en geen enkele wisselspanning zal meer kans zien TR₂ te openen. Omgekeerd gebeurt hetzelfde door de diode D₁ (zie foto 8).

Met de relaiscontacten is het mogelijk om mechanisch en elektrisch neutraliserende servomotoren te schakelen. In figuur 26 is het bovenste deel van het schema uitgevoerd met een mechanisch neutraliserende servo. De schakeling spreekt voor zichzelf. Wij zien dat er 2 batterijen nodig zijn van 3 V, één voor vooruit en één voor achteruit. Indien dit een bezwaar is kan men natuurlijk ook de schakeling van figuur 22 of 23 toepassen.

De andere helft van het schema is uitgevoerd met een elektrisch neutraliserende servo. De werking van deze schakeling kwam reeds ter sprake op blz. 65.

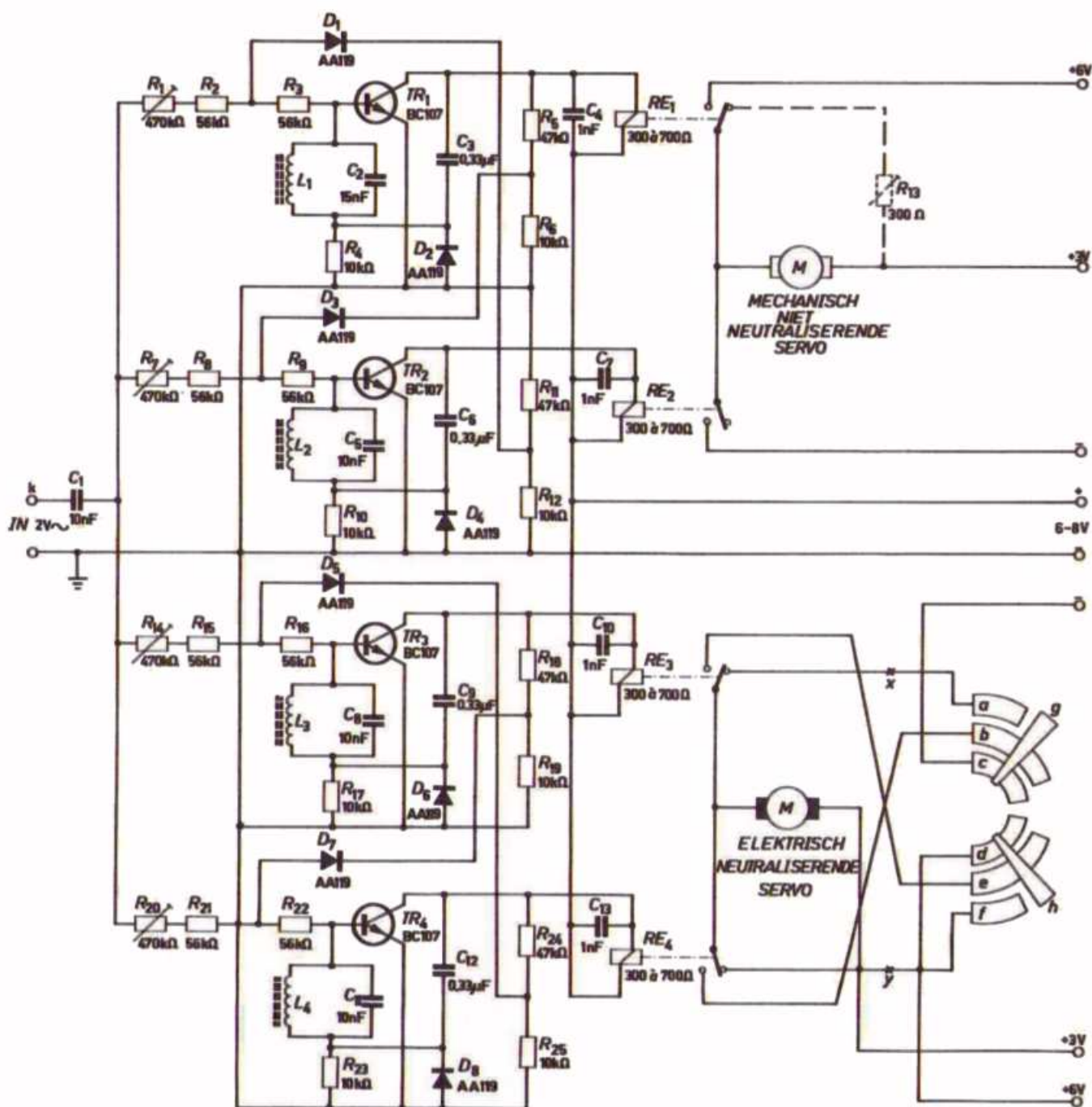


Fig. 26 Vierkanalenunit met elektrische filters voor een mechanisch en een elektrisch neutraliserende servo (relaisuitgang)

Transistorschakeling met elektrische filters voor 2-kanalenservo

Tenslotte behandelen we nog 2 schema's met schakeltransistors. Eerst figuur 27, bestemd voor mechanisch niet neutraliserende servo's.

Het filtergedeelte lijkt veel op het vorige, echter met dit verschil dat de

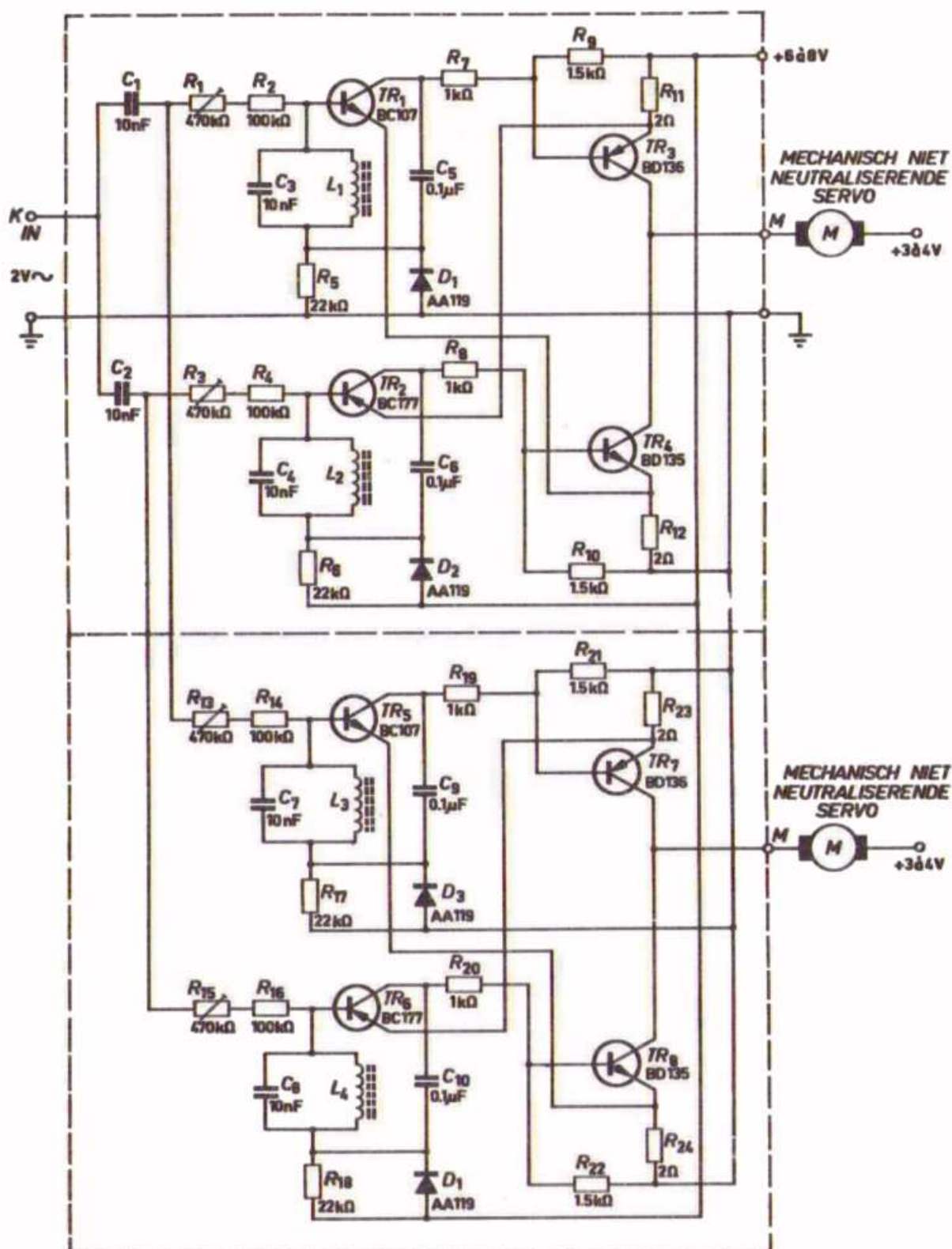


Fig. 27 Vierkanalenunit met elektrische filters voor mechanisch niet neutraliserende servo's (transistoruitgang)

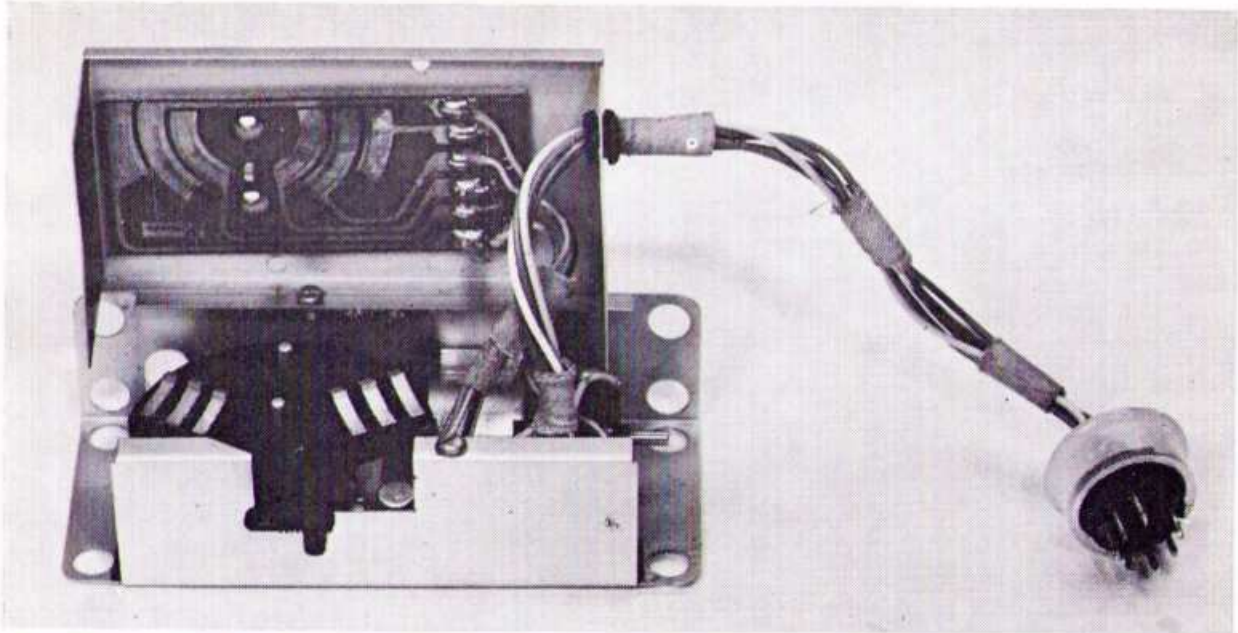


Foto 20. De populaire Amerikaanse elektrisch neutraliserende servo „Transmite“ met ingebouwde transistorschakeling.



Foto 21. Deze zeilboot van de heer van Liefland wordt met vier toonkanalen bestuurd. Twee voor links-rechts met een niet-neutraliserende servo en twee voor de schootwinch, die met een kracht van 3 à 5 kg het zeil omtrekt.

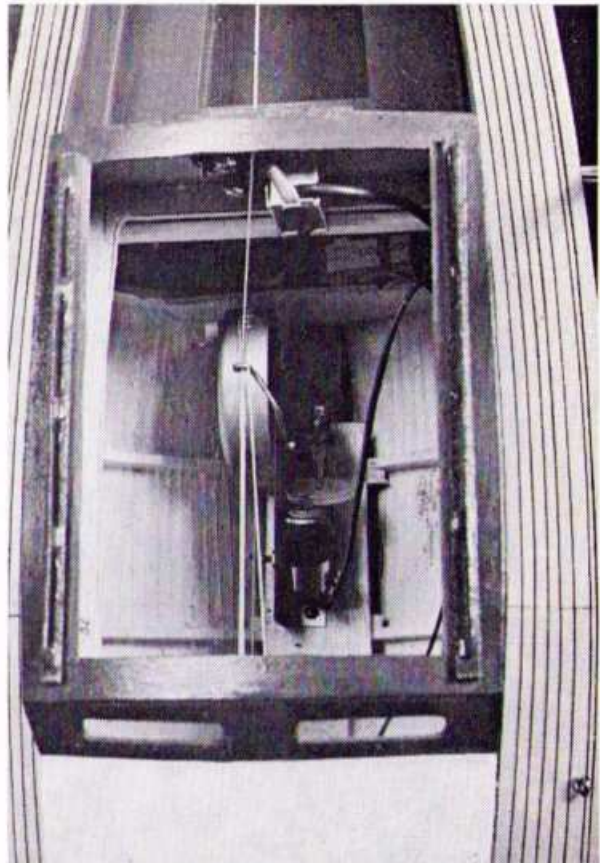


Foto 22. Detailopname schootwinch van de zeilboot van foto 21.

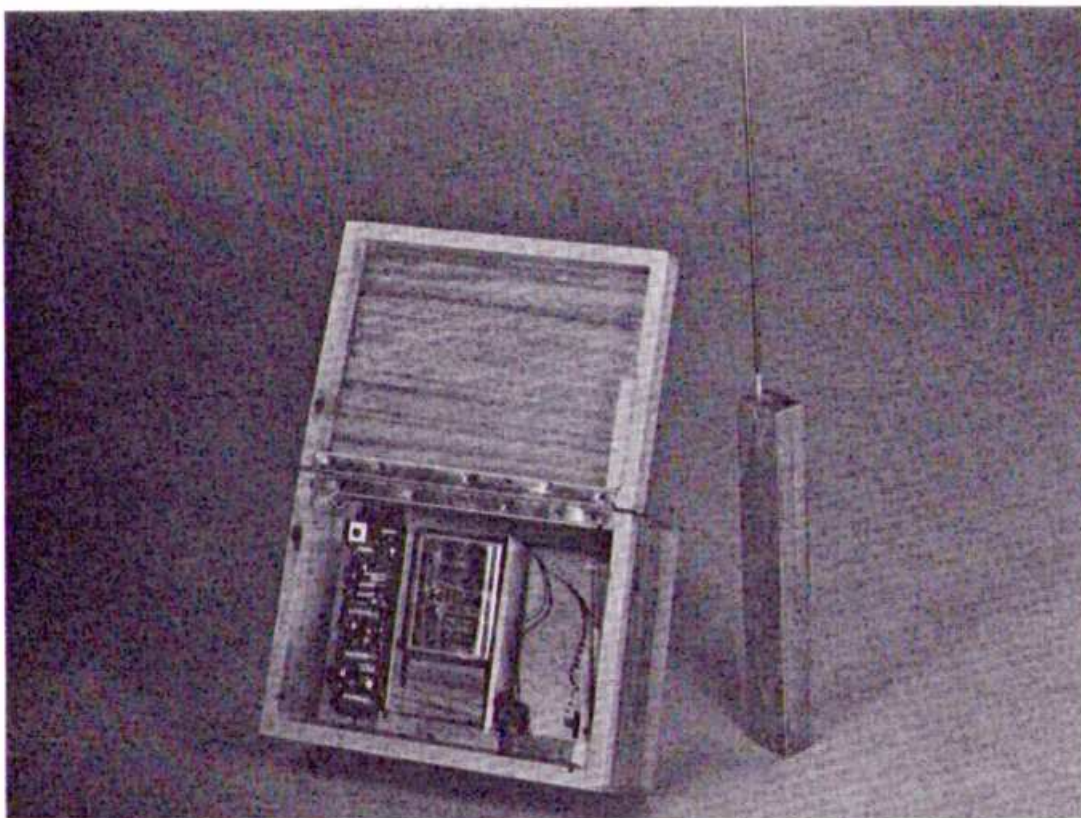


Foto 23. Het inwendige van de sigarenkist van foto 3, Deel I. Er is een dubbele bodem, waarin zijn ondergebracht: de ruisontvanger van fig. 35, de $4\frac{1}{2}$ volts batterij, schakelaar S_1 en een deel van het mechanisme (fig. 36). De antenne is een geïsoleerde draad in de deksel en is via het scharnier met de ontvanger verbonden.

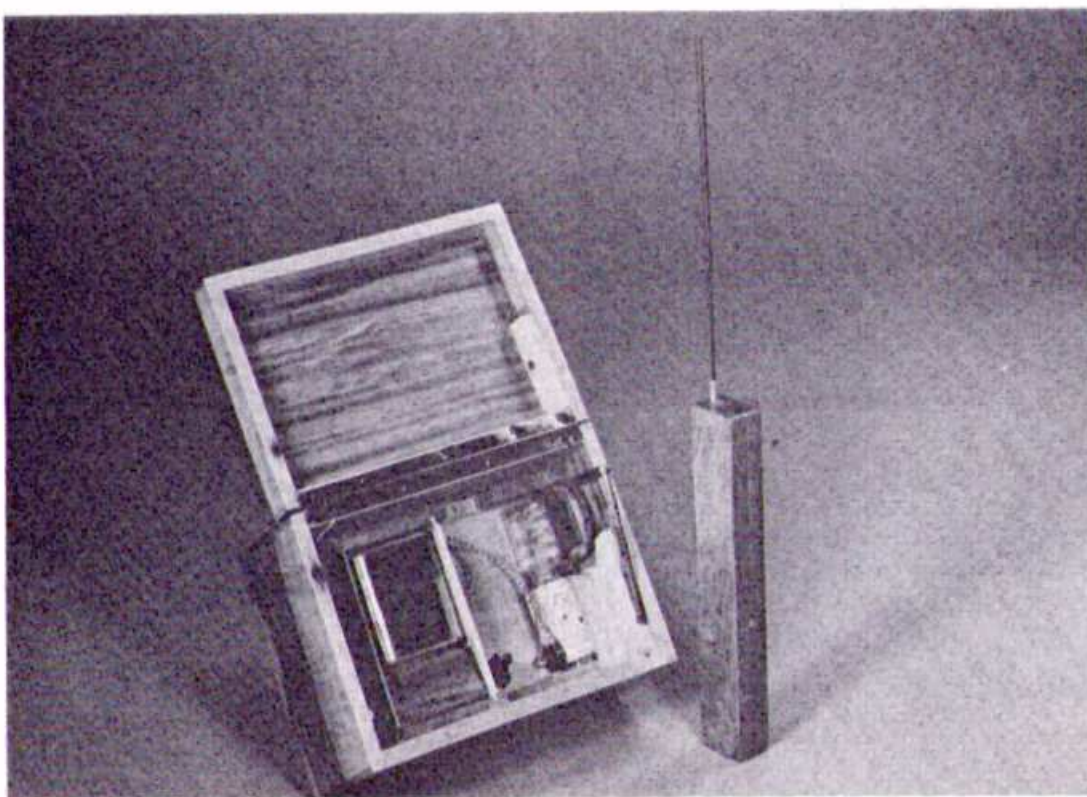


Foto 24. Het mechanische deel van de sigarenkist. De aandrijving gebeurt door een $4\frac{1}{2}$ volts Philishavemotor. De vertraging is 250 : 1.

transistor TR₁ een NPN transistor is en de TR₂ een PNP. Dit is gedaan terwille van de beveiliging. De emitter van TR₃ is verbonden met die van TR₂. Wanneer TR₁ is geopend zal ook TR₃ geleiden, waardoor de motor met de plus wordt verbonden. Maar over de emitterweerstand R₁₁ die slechts 2 Ω is, ontstaat dan een kleine spanningsval, die de emitter van TR₂ positief maakt ten opzichte van zijn basis. Daardoor wordt deze PNP-transistor verder dichtgedrukt.

Mocht er toch een signaal tot zijn basis doordringen, dan zal dit veel moeite hebben om TR₂ te openen. Dat kan alleen gebeuren als het signaal zeer sterk is, maar dan gaat TR₄ ook geleiden en dat veroorzaakt nog meer spanningsval over R₁₁, met het gevolg dat TR₂ weer verder dicht gaat. Deze beveiliging werkt full proof en geeft altijd de voorkeur aan de sterkste.

Het schema is getekend voor 4 kanalen en is uitsluitend geschikt voor mechanisch neutraliserende of niet neutraliserende servo's. De voedingsspanning kan liggen tussen 6 en 8 V.

Het spanningsverlies over de weerstanden R₁₁ respectievelijk R₁₂, plus het spanningsverlies in TR₃, respectievelijk TR₄, is niet te verwaarlozen en kan zelfs meer dan 1 V bedragen. Vandaar, dat voor deze schakeling beter 8 V dan 6 V kan worden genomen (zie foto 9).

De tweede schakeling (fig.28) is zowel voor elektrisch als voor mechanisch neutraliserende servo's geschikt. Het is een veel voorkomende, universele schakeling die bij alle typen 2-kanalenservo's toegepast kan worden.

Er zijn weer drie delen die alle reeds eerder zijn behandeld, zodat we daar verder niets aan toe te voegen hebben. We zien alleen dat de filterunit is uitgerust met PNP-transistors, omdat de schakelspanningen op de ingangen A en B positief moeten zijn voor het openen van de kanalen (zie schakeling van figuur 25).

Indien de servo niet moet neutraliseren moet punt 5 niet worden aangesloten (kruisje). Voor mechanisch neutraliserende servo's moet punt 1 met punt 2 worden doorverbonden en punt 3 met punt 4.

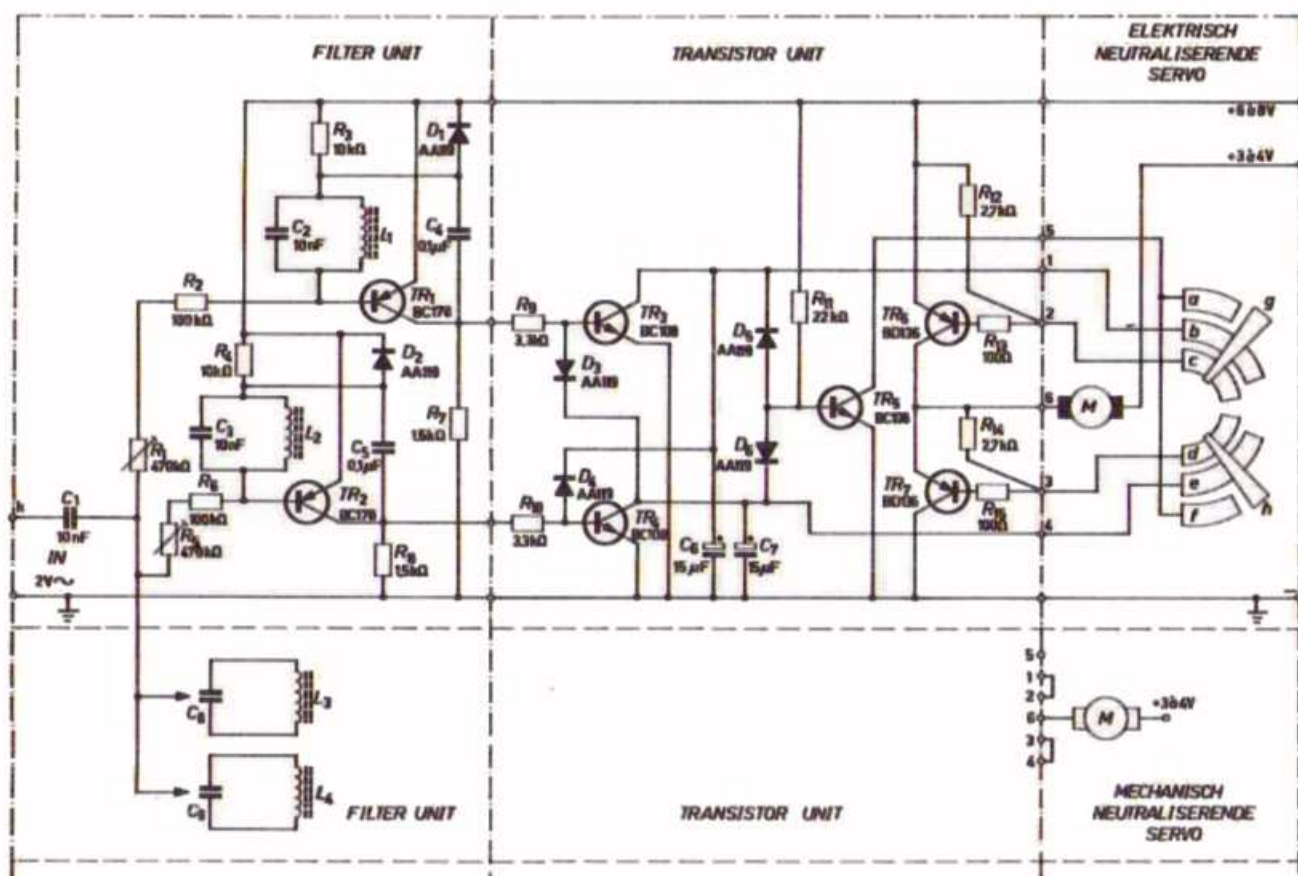


Fig. 28 Schakeling met elektrische filters voor elektrisch niet neutraliserende servo's (transistoruitgang)

Wanneer U dit schema vergelijkt met figuur 27, dan zal het wel duidelijk zijn dat voor mechanisch neutraliserende servo's figuur 27 veel eenvoudiger is dan figuur 28. Het enige voordeel van figuur 28 is dat de schakeling universeel is en dus altijd geschikt blijft voor elektrisch neutraliserende servo's (foto 10).

In beide schema's bestaat de voedingsspanning uit 2 batterijen of accu's van 3 à 4 V in serie.

SERVOMOTOREN

Tot nog toe is alleen het zenuwstelsel van ons model behandeld. De elektrische leidingen en de radiogolven zijn zenuwdraden, die in het verlengde liggen van ons menselijk zenuwstelsel. De commando's worden in ons brein opgewekt en lopen via onze zenuwdraden naar onze vingertoppen om daar te worden overgebracht in het zenuwstelsel van de zender en de ontvanger, met het doel het mechanisme in werking te stellen, dat onze opdracht moet uitvoeren. Daartoe is het nodig dat de elektrische stromen worden omgezet in mechanische bewegingen. Dit gebeurt door middel van elektromotoren.

Deze motoren zijn voorzien van vertragingen, al of niet met hefboomen, om het daarmee gekoppelde onderdeel van het model te bedienen. Een dergelijke combinatie van motor plus toebehoren noemt men een "servomotor". Aangezien er vele soorten functies, constructies en merken van servomotoren zijn, die dan ook nog moeten passen in de diverse kanaalsystemen, is er in de loop der jaren een onnoemelijk aantal typen servomotoren op de markt verschenen, ieder met zijn specifieke eigenschappen en kwaliteiten. In dit hoofdstuk zullen we een paar typen behandelen die hun betrouwbaarheid hebben bewezen.

De servomotor heeft een verantwoordelijke taak waar veel van afhangt. Men kan niet volstaan met een goedkoop speelgoedmotortje waar wat tandraderen aan toegevoegd worden, want dan komt men bedrogen uit. De goedkope motoren zijn meestal uitgerust met 3-polige ankers die de eigenschap hebben in sommige standen slecht aan te lopen, vooral onder belasting. We werken bij voorkeur met motoren met 5-polige ankers. Behalve dat ze betrouwbaarder aanlopen, zijn ze ook meestal voorzien van een betere lagering en borstelconstructie, hetgeen behalve de betrouwbaarheid ook het nuttig effect verhoogt. De verdere onderdelen, zoals tandraderen, tandheugels en schakelwalsen, mogen niet

kunnen oxyderen en moeten samen met de motor stofdicht zijn afgesloten.

Sommige modelbouwers maken zelf hun servomotoren. Maar dat vereist goed gereedschap en veel handigheid en tijd. Het is niet de bedoeling dat wij hier een bouwbeschrijving geven, omdat elke modelbouwer zijn eigen constructie bepaalt, afhankelijk van de tandraderen die hij toevallig heeft liggen. Maar voordat men hier aan begint moet men zich wel realiseren, dat het veel tijd kost met een grote kans op mislukking. Er is zoveel keus op de markt, dat er voor iedere beurs wel iets te vinden is, en de tijd die men dan overhoudt kan men beter besteden aan de goede afwerking van de andere apparatuur.

Er is een periode geweest, waarin men zwoer bij pneumatische besturing. De firma Stegmeier heeft dit systeem jarenlang in de handel gebracht, speciaal voor vliegtuigen, vanwege het geringe gewicht. Het bestond uit een vacuumpomp en membranen. De vacuumpomp werd aangedreven door de benzinemotor. Deze pomp zoog de lucht uit een vat en het vacuum dat daardoor ontstond werd met behulp van buisjes via elektromagnetische ventielen naar de membranen geleid. Op hun beurt waren deze membranen weer gekoppeld met het roer en de ailerons. De ventielen werden met behulp van relais geopend en gesloten.

Dit systeem is geheel in onbruik geraakt omdat er te hoge eisen werden gesteld aan het mechanisme. Een variatie hierop werd en wordt nog wel gebruikt in zweefvliegtuigen. Een kinderluchtballon wordt opgeblazen en dient als energiebron voor het bewegen van kleine zuigertjes die het richtingroer bedienen. Het systeem is uitermate licht, maar o wee, als de luchtballon leeg raakt!

Toch is het een sport om met een zo licht mogelijke constructie zo lang mogelijk in de lucht te blijven.

Overzicht servomotoren

In deel I werd het onderwerp servomotoren reeds aangeroerd om de verrichtingen, die van de commando's worden verlangd, te bespreken. Er werd toen in hoofdstuk 2 dat handelt over "systemen voor afstandbesturing" aangegeven

welke servomotoren voor bepaalde functies worden gebruikt. De diverse typen kregen nummers die corresponderen met de nummering in Tabel V.

Behalve de servomotoren zijn ook de relais en de stappenschakelaars hierin opgenomen.

Eenkanaalservo's

In de loop der jaren is er altijd een strijd geweest tussen de ingewikkelde en de eenvoudige systemen.

De voorstanders van de eenvoudige systemen moesten vaak al hun inventiviteit bijeen brengen om tot perfectie te komen. Ze maakten er een sport van om dit met weinig geld te bereiken. Maar meestal kostte dat heel veel tijd. Vroeger had men over het algemeen ook meer tijd dan geld. Sommigen wisten met éénkanaalsystemen wonderen te verrichten. Men zag kans om daarmee een vliegtuig de gekste capriolen te laten maken, niet zomaar bij toeval maar doelbewust. Meestal leefde zo'n vliegtuig niet lang. Eén kleine vergissing, of een weigering van de servomotor kwam té vaak voor en de gevolgen bleven niet uit. Er hing té veel af van de reactiesnelheid van de piloot. Toch zijn de éénkanaalservo's nog volop in zwang, vooral in modellen waarvan de snelheid laag is en het aantal stuurorganen gering, zoals bij boten en zweefvliegtuigen. Voor motorvliegtuigen raden we ze niet aan.

Escapement

Het oudste stuurmechaniek, waar Tesla in 1891 al mee werkte, (zie het boek "Radiogolven"), is het escapement. In figuur 3 van deel I is het getekend. Het wordt door een rubbermotor van energie voorzien. De constructie is zó simpel en licht van gewicht, dat het nog steeds een aantrekkelijk ding is voor zweefvliegtuigen. Het is gemakkelijk zelf te maken en dat is iets dat elke modelbouwer ambieert: kopen is tenslotte de gemakkelijkste weg, vindt hij.

TABEL V

Overzicht van Relais en Servomotoren

Nr.	Omschrijving	Merk	Type
1	Relais met 2 omschakelcontacten 4 - 8 V idem	Kaco	RA 19002 A 35
	Relaisvoet voor Siemensrelais	Siemens	Trls 154c/Tkfs 93d
2	Relais met 4 omschakelcontacten 4 - 8 V Relaisvoet voor Siemensrelais	Siemens	T stv 24c
3	Zwaar schakelrelais met 2 omschakelcont. 4 - 8 V Relaisvoet	Siemens	Trls 154d/Tkfs 112e
4	Escapement	Siemens	T stv 24d
5	Telefoonkiezer met 11 stappen	Zie deel I fig. 3	Trls 154d/Tkfs 97
6	Eénkanaalservo met 6 functies: kinematic	Graupner	T stv 24d
7	Eénkanaalservo met 3 uitwisselbare contactschrijven	Metz-Mecatronic I	3604
8	Eénkanaal 4-standen-omschakelaar. vooruit - stop - achteruit - stop	Robbe-Rotator	190/18
	Eénkanaal 5-standen-omschakelaar langzaam vooruit - snel vooruit - stop - achteruit - stop	Polumat I	48/10
			184/1 of 184/1T

9	Zelfneutraliserende 2-kanalenservo (mechanische neutralisatie)	Graupner-Bellamatic II	3756
	Zelfneutraliserende 2-kanalenservo (elektrische neutralisatie)		
	Omschakelbaar voor niet zelfneutraliserende 2-kanalenservo		
	Voor stuurorganen	Robbe FE 3B	7268
	Voor regelorganen	Robbe FR 3B	7255
10	Niet zelfneutraliserende 2-kanalenservo	Graupner-servo - automatic II	3758
	Uit te breiden met een omschakelunit bestaande uit 2 microschakelaars die in de eindstanden inschakelen.	Graupner	3760
11	Snelheidsregelaar voor elektromotoren	motor	3540
	De niet neutraliserende 2-kanalenservo wordt gekoppeld met een variabele weerstand	regelaar 20Ω	3541/1 (10 W)
		regelaar 6Ω	3541/2 (20 W)
		houder	3542

De werking is bekend:

1 ^{ste} puls	linksaf
2 ^{de} puls	rechtuit
3 ^{de} puls	rechtsaf
4 ^{de} puls	rechtuit
5 ^{de} puls	weer linksaf, enzovoort

Men kan dus nooit twee maal achter elkaar dezelfde stuuruitslag geven zonder eerst alle andere te hebben doorlopen. Bij elke puls draait het anker een kwart slag. Bij de veer- en rubbermotor is het aantal slagen natuurlijk beperkt.

Het escapement wordt bij voorkeur direct door een transistor bekrachtigd. Een geschikte ontvanger hiervoor is de superregeneratieve ontvanger van figuur 37. Het relais wordt weggelaten en de spoel van het escapement komt er voor in de plaats. De draaggolf van de zender blijft instaan; met een enkele modulatie-ton wordt het commando gegeven.

De zender hiervoor is gegeven in deel I, figuur 79.

Eenkanaalservo's met zes functies

Deze servo's zijn bijzonder geschikt voor kleine boten, zoals afgebeeld in foto 26. De stuurkrachten die deze servo's kunnen ontwikkelen zijn betrekkelijk klein. De bootlengte moet daarom niet veel groter zijn dan 0,80 m en de snelheid laag.

Er zijn de volgende functies:

1 ^{ste} lange puls	linksaf
	loslaten rechtuit
2 ^{de} lange puls	rechtsaf
	loslaten rechtuit enzovoort
1 ^{ste} korte puls	vooruit
2 ^{de} korte puls	stop
3 ^{de} korte puls	achteruit
4 ^{de} korte puls	stop enzovoort

De bediening van het roer gebeurt door een soort escapement dat door een elektromotor wordt aangedreven. Deze motor is gemaakt voor een spanning van $4\frac{1}{2}$ V. Hij kan zowel door een relais als door een transistor worden geschakeld (schema's 17, 18, 19 en 20). Stroomverbruik is ongeveer 0,3 à 0,5 A. De neutralisering gebeurt mechanisch door een sterke veer. In de eindstanden blijft de motor doordraaien en een slipkoppeling beschermt het mechanisme tegen overbelasting.

De schakelwals voor de aandrijfmotor heeft 4 standen en reageert alleen op korte pulsen. Bij elke korte puls draait de motor voor de roerbediening een klein stukje en neemt in zijn terugloop de schakelwals $\frac{1}{4}$ slag mee. Het is een bijzonder slim systeem dat feilloos werkt, als tenminste de pulsduur goed wordt genomen. De stroom die met deze schakelwals kan worden geschakeld mag niet te hoog zijn, maximaal ongeveer 3 A. Een bekende servo is de "Kinematic", gebracht door de Fa. Graupner (foto 11).

In grote boten met een krachtige aandrijfmotor gebruikt men liever een 2-kanalenservo. De kracht die nodig is om een roer te bewegen met de boot in volle vaart, moet men niet onderschatten. Het gebeurt vaak dat de boot op de werktafel thuis fantastisch reageert en dat even later in het water de gehoorzaamheid is verdwenen. Dit is vaak een gevolg van te weinig stuurvermogen. In zulke gevallen doet men het beste, op een elektrisch neutraliserend servosysteem over te gaan, aangezien dat vele malen krachtiger is.

Het zelfbouwen van een stuurmechanisme wordt ook veel gedaan (zie foto 28).

Metz Mecatronic I

Deze éénkanaalservo is eigenlijk een soort escapement met verschillende mogelijkheden. Er worden 3 schijven meegeleverd, waarmee de servo geschikt gemaakt kan worden voor diverse doeleinden.

a. De eerste schijf geeft de volgende mogelijkheden:

- 1 lange puls = linksaf
- loslaten = rechtuit (neutrale stand)
- 1 korte + 1 lange puls = rechtsaf
- loslaten = rechtuit (neutrale stand)

Er is geen vaste volgorde, hetgeen de besturing aanzienlijk vergemakkelijkt. In deze hoedanigheid is de servo behalve voor zweefvliegtuigen en kleine zeilboten ook bijzonder geschikt voor allerlei bijkomstige functies in boten of vliegtuigen, zoals: hijskraan, reddingsboten, landingsgestel in- en uit, enz.

b. Werking volgens het escapement principe

- 1 lange puls = linksaf
- loslaten = rechtuit (neutrale stand)
- volgende lange puls = rechtsaf
- loslaten = rechtuit (neutrale stand) enz.

Er is dus een vaste volgorde.

c. De derde mogelijkheid:

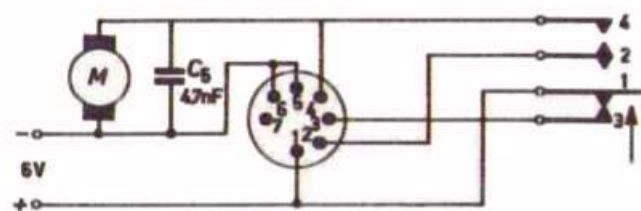
- 1^e korte puls = motor vol gas
- 2^e korte puls = motor half gas enz.

Men kan er ook schakelaars mee bedienen voor verlichting of om voor- en achteruit te schakelen.

Het is in alle opzichten een aantrekkelijke servo waarmee men veel kan doen. Ze worden vaak gebruikt in 2-kanalensystemen. Er zijn dan 2 van deze servo's: één voor de stuurinrichting en de andere voor vooruit en achteruit. Vooral in kleine boten wordt dit veel gedaan. In eenvoudige vliegtuigen komen ze ook voor; één is dan bestemd voor het richtingroer en de ander voor gasregeling. Het vliegtuig moet dan zódanig afgesteld zijn dat volgas het doet stijgen en halfgas het doet dalen.

De servo wordt geleverd in 2 uitvoeringen:

1. voor relaissturing: type 190/18 (fig. 17 of fig. 19)
2. voor transistorsturing: type 190/18T (foto 12)



SCHEMA SERVOMOTOR
STEKER TEGEN DE BUSSEN GEZIEN

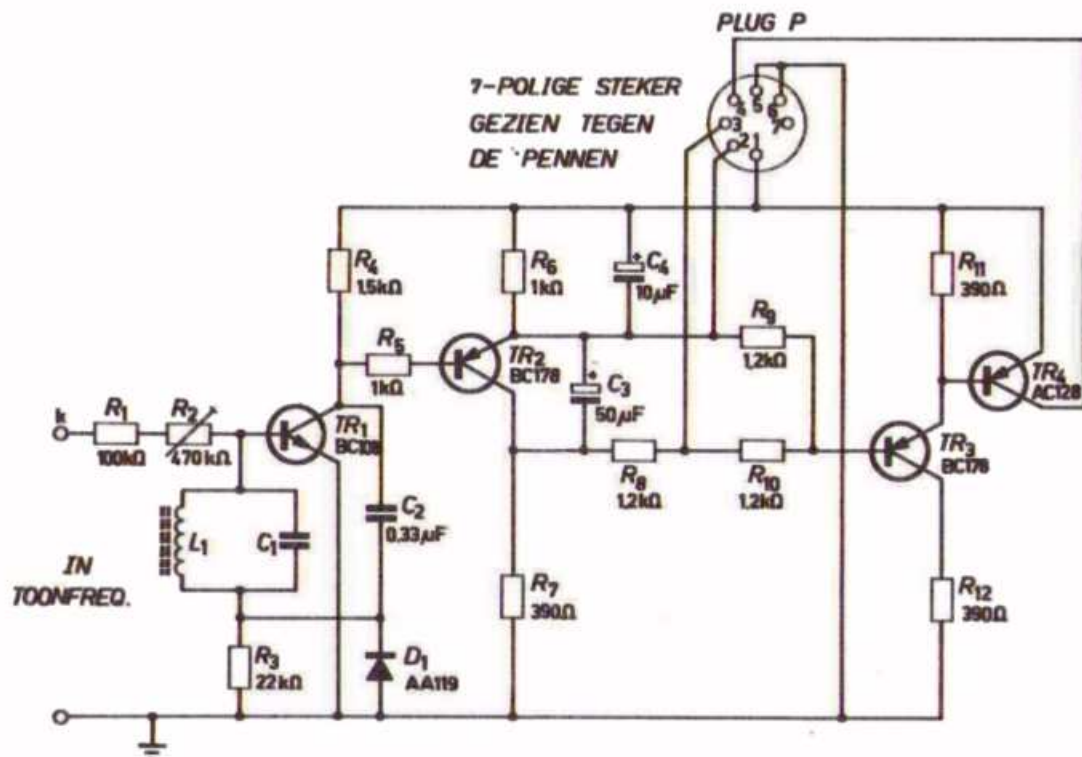


Fig. 29 Transistorschakeling voor de Metz Mecatronic 190/18T en voor de Polumat 2

De elektronische schakeling die bij de laatste hoort is weergegeven in figuur 29. Boven in de figuur staat het schema van de servomotor met een 7-polige contra-steker.

De contactveer 1 wordt door de nokkenschiif naar boven gedrukt zodat in rust 1 met 3 contact maakt en in de actieve standen 1 met 2 of zelfs 1 met 2 en met 4. De voedingsspanning van 6 volt wordt via de 7-polige steker overgebracht op het elektronische circuit. De werking is als volgt:

Voor schijf 2:

Beginstand is neutraal; dan is contactveer 1 met veer 3 verbonden. Als er geen signaal binnenkomt is TR1 geblokkeerd en daardoor ook TR2. Dan zijn ook TR3

en TR4 geblokkeerd. Een toon die overeenstemt met de frequentie van de resonantiekring L_1C_1 zal TR1 en TR2 geleidend maken. Elco C3 vlakkt de spanningspulsen tussen collector en emitter van TR2 af. Er ontstaat een stroom door R6 waardoor de basis van TR3 negatief wordt, met het gevolg dat TR3 en TR4 gaan geleiden en de motor M gaat draaien. Tot de uiterste stand links is bereikt want dan sluiten de contacten 1 en 2 (contact 3 laat los). Hierdoor valt de spanning over R6 weg. De spanning op de collector van TR2 is nog laag omdat de toon nog aanhoudt. Dus de negatieve spanning op de basis van TR3 valt weg en TR3 en TR4 blokkeren. Dit blijft zo tot de toon wordt uitgeschakeld, want dan blokkeert TR2 en de spanning op zijn collector wordt negatief. Waar door via R8 en R10 ook de basis van TR3 negatief wordt en de motor verder draait tot de middenstand weer is bereikt. Want dan zijn 1 en 3 weer kortgesloten en de negatieve basisspanning van TR3 valt weer weg. Bij het volgende commando speelt zich hetzelfde af, alleen draait de servo dan van midden naar de uiterst rechtse stand.

Voor schijf 3:

Deze werkt op dezelfde wijze als schijf 2, echter met dit verschil, dat alles ongeveer $\frac{1}{4}$ slag is verdraaid zodat dus de neutrale standen nu uiterst links en uiterst rechts komen te liggen. Een korte puls brengt de servo van uiterst links via neutraal naar uiterst rechts. Bij een lange puls blijft de servo ongeveer in de middenstand staan totdat de puls eindigt en verder doordraait.

Voor schijf 1:

Beginstand is neutraal (1 en 3 doorverbonden). Een commandotoon doet de servo naar uiterst links draaien, waar veer 3 wordt verbroken en 1 en 2 sluiten. De servo stopt. Als daarna het commando wordt uitgeschakeld dan zal TR3 weer geleidend worden door het negatief worden van de collectorspanning van TR2 en de servo draait naar rechts.

In deze reis van links naar rechts wordt veer 4 bij de contacten 1 en 2 gevoegd waardoor de servomotor doordraait tot uiterst rechts, waar veer 4 weer wordt losgelaten en alleen 1 en 2 nog contact maken. Indien dan het commando

nog steeds weg is zal de servo verder draaien tot de neutrale stand waar 1 en 3 weer sluiten zodat de motor daar weer stopt.

De gang van zaken is nu dus zo, dat bij eenmaal drukken en vasthouden de servo van neutraal naar links loopt en daar blijft staan tot weer wordt losgelaten waarna de servo in één ruk doordraait over rechts naar neutraal.

Wanneer echter het commando als volgt wordt gegeven: kort indrukken ($\pm 0,4$ sec), daarna kort loslaten (0,4 sec), en weer indrukken en nu vasthouden, dan gebeurt het volgende: de servo loopt van neutraal naar uiterst links, stopt heel even en loopt direct verder omdat na 0,4 seconden wordt losgelaten.

Dan zal tijdens de route van links naar rechts, waarin contactveer 4 meedoet, opnieuw de commandotoon doorkomen met als gevolg dat in de uiterst rechtse stand de servo zal stoppen, omdat 1 met 2 is doorverbonden en TR2 geleidend is vanwege de commandotoon. De servo blijft in deze stand staan totdat het commando ophoudt, waardoor de collectorspanning van TR2 weer negatief wordt en TR3 en TR4 gaan geleiden zodat de servo naar zijn neutrale stand verder draait.

Het resultaat van deze methode van commanderen is dat de servo eigenlijk in één ruk doorloopt van neutraal via uiterst links naar uiterst rechts en daar blijft staan tot het commando ophoudt.

U ziet: een bijzonder ingenieus systeem met vele mogelijkheden.

Met deze schijf 1 is het dus mogelijk om met één kanaal naar links of naar rechts te commanderen zonder te weten wat de voorgaande manoeuvre is geweest, terwijl dit bij het escapement-principe altijd moet worden onthouden.

Enkele gegevens:

Spanning	6 volt
Stroom motor	300 mA
Gewicht	60 g
Afmetingen	7,5 x 3,1 x 3 cm

Stroomverbruik van de elektronische schakeling van figuur 29 is in de neutrale standen gelijk aan 5 mA.

Schakelwalsen

De éénkanaalservo's, die hiervoor werden beschreven, zijn in eerste instantie bedoeld om een roer te bedienen. Soms echter worden ze ook wel gebruikt voor het indrukken van microschakelaars, b.v. voor een aandrijfmotor. Omdat men vrij is in de keuze van het type schakelaar kan dan ook met grotere stromen gewerkt worden. Een servomotor met aangebouwde schakelwals, zoals de kinematic, is begrensd tot maximaal 3 A, en de schakelwalsen die we nu gaan behandelen tot maximaal 5 A. Vandaar dat ze alleen bruikbaar zijn voor kleinere boten of voor auto's waar de stromen deze limiet niet te boven gaan. Ze worden ook wel toegepast voor andere doeleinden, zoals het schakelen van verlichting, claxon en dergelijke.

De firma Robbe heeft op het gebied van schakelwalsen veel gedaan. De twee bekendste zijn:

a. de Pumat (foto 13)

b. de Robberotator

We zullen de Pumat eens nader bekijken; de andere komt hier vrijwel mee overeen.

Foto 14 laat het in- en uitwendige zien van deze schakelwals. Het is een soort elektromagneet, die de contactwals verdraait. In figuur 30 is dit schematisch

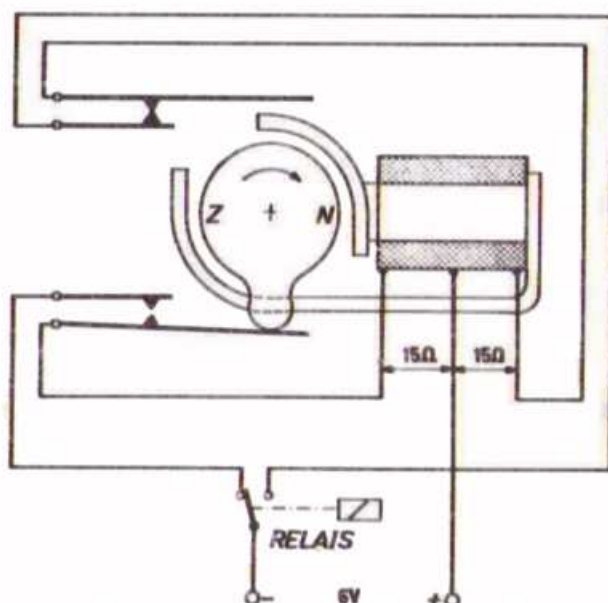


Fig. 30 Principe van de Pumat 184/1

weergegeven. Er zijn 2 uitvoeringen: één voor relaissturing - de Polumat 184/1, en één voor transistorsturing, de Polumat 184/1T.

De Polumat heeft 5 standen die in vaste volgorde worden doorlopen, n.l.:

- 1ste puls langzaam vooruit
- 2de puls snel vooruit
- 3de puls stop
- 4de puls langzaam achteruit
- 5de puls stop

De technische gegevens zijn:

- afmetingen 70 x 35 x 30 mm
- schakelvermogen 50 W
- schakelstroom 5 A
- bedrijfsspanning 6 V
- gewicht 80 g

De schakelwals is zódanig uitgekiend, dat de batterij gelijkmatig wordt belast. De batterij is in 2 helften van gelijke spanning verdeeld. In de standen "langzaam vooruit" en "langzaam achteruit" staan deze 2 helften parallel en in de stand "snel vooruit" in serie. De aansluitingen zijn in figuur 31 aangegeven.

De filterunit, bestemd voor de Polumat 184/1 is in figuur 19 gegeven, waarbij de relaiscontacten volgens figuur 30 moeten worden verbonden. Bij het inschakelen van het relais maakt de Polumat een halve stap en bij het uitschakelen weer een halve stap (fig. 31).

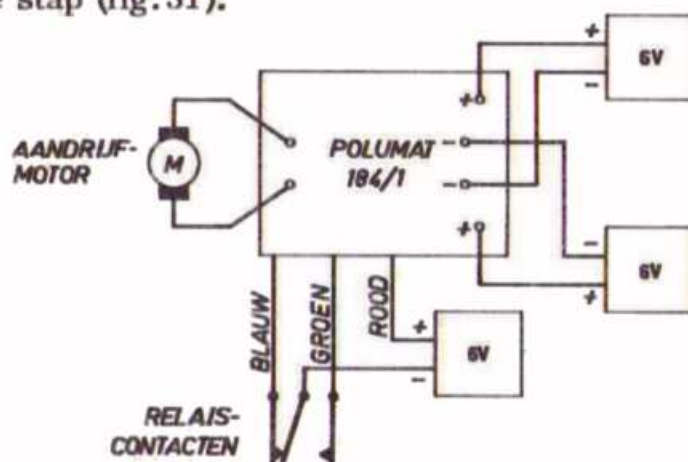


Fig. 31 Schakelschema van de Polumat 184/1

De Polumat 184/1T, die voor een transistorschakeling is bedoeld, vereist een geheel andere besturing. Het schema hiervoor is hetzelfde als dat van figuur 29. De 7-polige stekker waarmee de 184/1T is uitgerust past zonder meer in de plug van de transistorunit en komt overeen met die van de Metz Mecatronic 190/18T.

Een andere schakelwals die veel voorkomt, is de z.g. Robberotator. Hij heeft 4 posities volgens een vaste volgorde, n.l. rechtuit - stop - achteruit - stop enz. Alleen geschikt om met een relais geschakeld te worden.

Technische gegevens zijn:

afmetingen	100 x 50 x 40 mm	stroomopname	250 mA
spanning	6 V	gewicht	66 g
belastbaarheid	10 W		

Ter completering willen we nog even de aandacht vestigen op een voor-en-achteruitschakeling met bistabiele multivibratoren. In figuur 32 is een dergelijk schema weergegeven. Het is een schakeling die voorkomt in de tractor van foto 15. De filterunit bestaat uit 3 kanalen volgens figuur 19 en 26. Het relais RE3 van het 3^e kanaal is bestemd voor vooruit - stop - achteruit. Het contact van dit relais geeft bij ieder commando een puls aan de eerste bistabiele multivi-

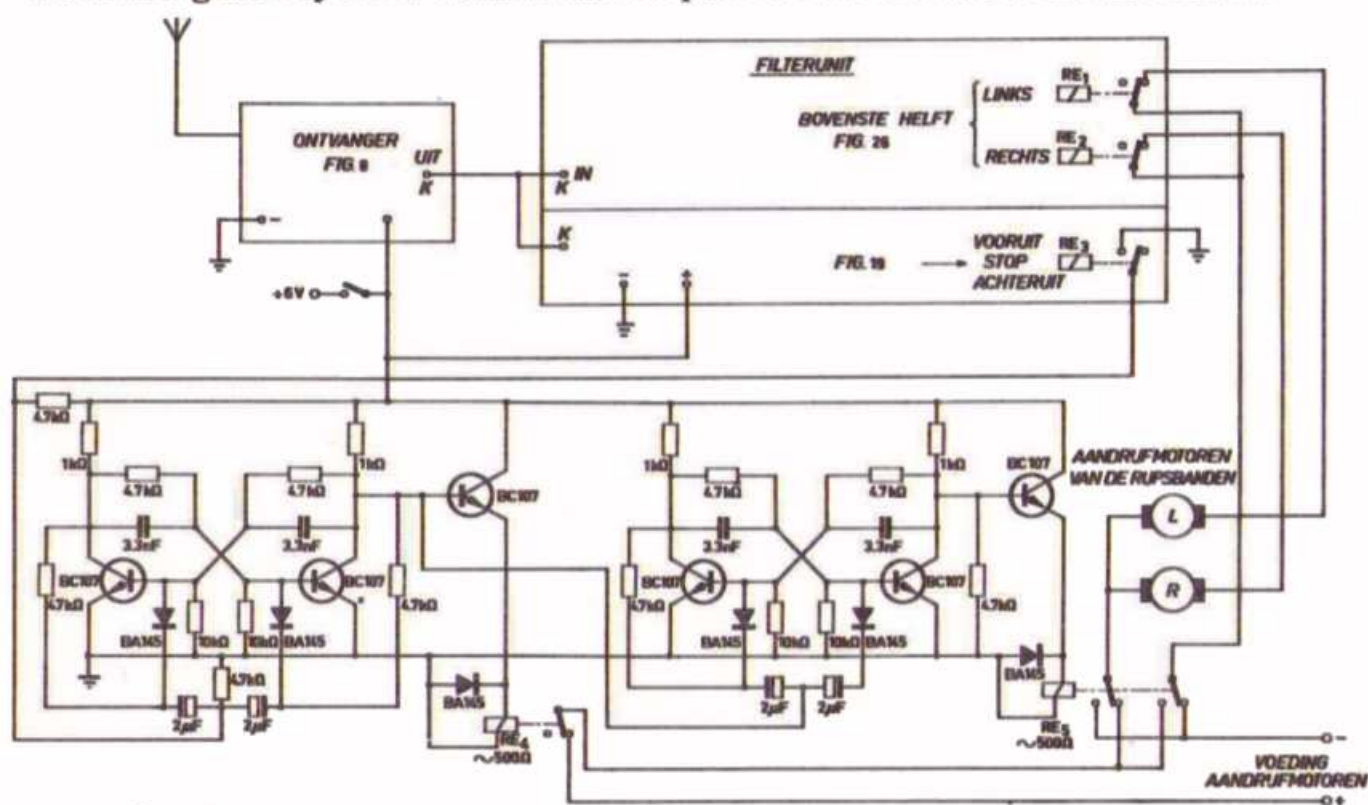


Fig. 32 Voor- en achteruitschakeling met twee bistabiele multivibratoren



Foto 25. De „Marijke Levina” is een boot van 60 cm lengte. De romp, een rondspant, is opgebouwd uit ongeveer 50 aan elkaar gelijkde smalle houten latjes van gemiddeld 6 mm breedte. Deze constructie maakt het mogelijk de romp een vloeiend verloop te geven. Met de eenkanaal-superregeneratieve ontvanger volgens schema van fig. 37 wordt een kinematic geschakeld die zes functies kan verrichten: vooruit – stop – achteruit en linksaf – rechtuit – rechtsaf. In de top van de mast is een controlelampje aangebracht, dat brandt zodra een commando doorkomt en het relais aantrekt. Het roer is bevestigd aan een lange as die boven het dek uitkomt. Aan het horizontale einde kan men zien in welke stand het roer staat.

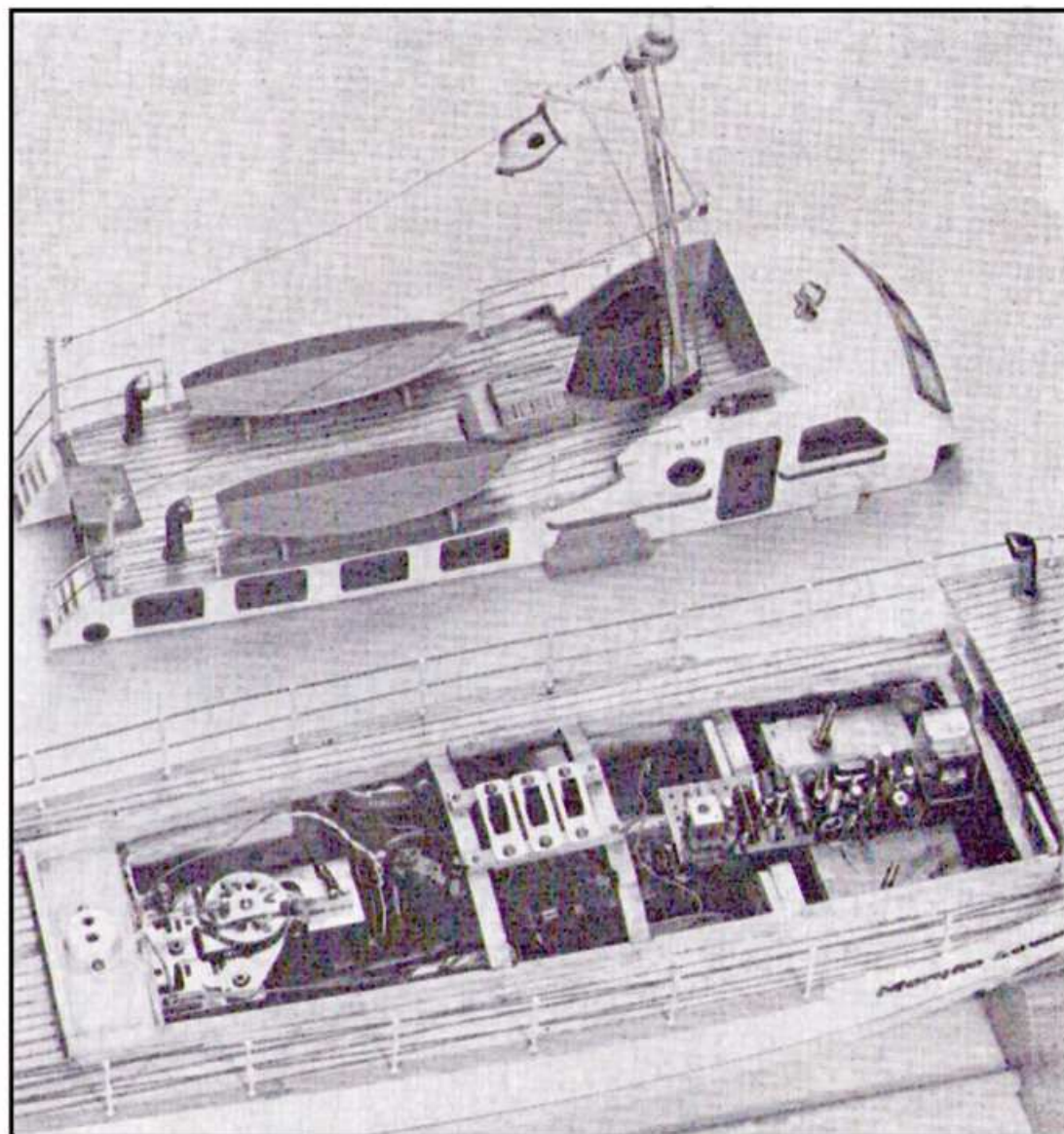


Foto 26. Het inwendige van de „Marijke Levina”. Links de kinematic, rechts de ontvanger.



Foto 27. De „Holyday“ met bijbehorende vijfkanalenzender: 2 voor links en rechts en 3 voor vooruit-stop-achteruit.

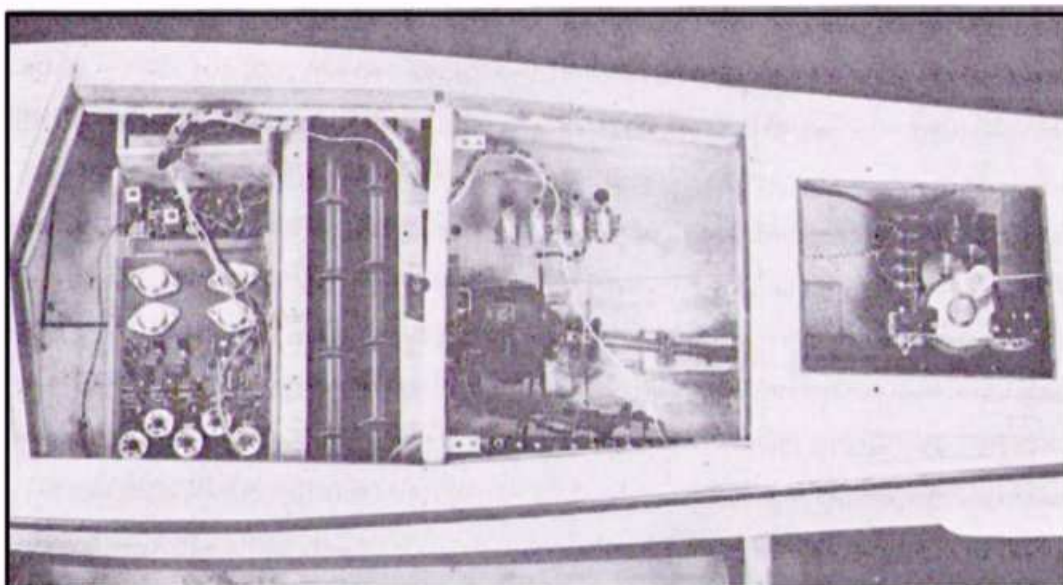


Foto 28. Het inwendige van de „Holyday“. Links boven de superregeneratieve ontvanger van fig.12 en daaronder het filterdeel met schakelunit volgens fig. 39. Daarnaast zijn 10 NiCd-accu's van $3\frac{1}{2}$ A · h te zien voor de 12 volts voeding van de aandrijfmotor. De ontvanger en de filter-unit met stuurmotor worden gevoed door 5 NiCd-accu's van 1,2 A · h. In het midden is de aandrijfmotor zichtbaar, een ventilatormotor van een autokachel, 12 V, 1,5 A. Rechts de stuurinrichting. De motor is een Philips-motor, foto 35, met een vertraging van ongeveer 500 : 1. De stuurinrichting is niet zelfneutraliserend. Het roer is via een slipkoppeling met het mechanisme gekoppeld opdat dit niet kan worden geforceerd als het roer geblokkeerd wordt door vuil in het water. De microschakelaars S_1 en S_2 schakelen de motor uit als het roer de uiterste standen heeft bereikt (fig. 41).

brator. Als deze 2x omklapt wordt er één puls aan de 2^e multivibrator gegeven die daardoor 1 x omklapt. Dit heeft tot gevolg dat bij iedere puls de aandrijfmotoren voor de rupsbanden door RE4 worden in- en uitgeschakeld, terwijl ze om de andere puls door RE5 van vooruit op achteruit worden geschakeld en omgekeerd. Beide rupsbanden lopen normaal even hard.

Wordt links signaal gegeven dan trekt relais RE1 aan en de motor van de linker rupsband stopt. Bij rechts signaal stopt de rechter rupsband. Bij geen signaal lopen ze weer allebei en de tractor gaat rechtuit.

De boot en de auto van foto 15 en 16 zijn eveneens volgens fig.32 gebouwd.

De relais RE1 en RE2 schakelen een mechanisch niet zelfneutraliserende servo zoals in fig.26 is aangegeven.

Tweekanalenservo's

Voor het safe sturen werkt men het liefst met meer dan één kanaal. De eenvoud van het éénkanaalsysteem weegt, vooral voor de duurdere modellen en zeker voor vliegtuigen, niet op tegen de veiligheid van het méérkanalensysteem.

Voor elk stuurmechanisme worden 2 kanalen gereserveerd, waarvan het ene de servo naar links draait en het andere naar rechts. Het hangt verder af van het doel van de servo of na elke stuurmanoeuvre automatisch de neutrale stand weer moet worden ingenomen of niet.

De 2-kanalenservo's kan men onderverdelen in:

- | | | |
|----------------------------|---|------------|
| a. zelfneutraliserend | { | mechanisch |
| | | elektrisch |
| b. niet zelfneutraliserend | { | mechanisch |
| | | elektrisch |

De zelfneutraliserende servo's zijn gewoonlijk bedoeld voor de bediening van de stuurorganen. Ze werken snel, d.w.z. in een onderdeel van een seconde hebben ze hun eindstand bereikt en dat is bijzonder plezierig, vooral bij het besturen van vliegtuigen.

De niet zelfneutraliserende servo's daarentegen zijn meer bedoeld voor het

instellen van organen, zoals de gasregeling van benzinemotoren, de stroomregeling van elektromotoren of het trimmen van de stuurorganen. Ze zijn daarom veel trager dan de neutraliserende servo's.

Mechanisch neutraliserende servo's

De mechanisch neutraliserende servo's zijn meestal voorzien van een veer en een slipkoppeling. De veer dient om de servo ná een manoeuvre naar zijn neutrale stand terug te trekken en de slipkoppeling voorkomt het vastlopen in de uiterste standen. Sommige zijn zelfs nog voorzien van een centrifugaalkoppeling. Dit heeft het voordeel dat de motor ontlast aanloopt, waardoor de sterke aanloopstroom wordt verkleind.

Bij dit soort servo's moet niet alleen de kracht voor de sturbeweging worden opgewekt, maar ook de kracht die nodig is om de veer te spannen. Deze energie krijgen we bij de teruggaande beweging wel weer terug, maar de elektromotor moet het toch eerst opbrengen. Het komt er op neer dat maximaal de helft van de kracht van de motor bij de heengaande beweging in nuttige energie beschikbaar is; de andere helft wordt in de veer verzameld. In de uiterste stand loopt het mechanisme vast, maar de motor blijft doordraaien door de slipkoppeling heen. Dit eist vrij veel energie, omdat de kracht die nodig is om de koppeling te laten slippen, groter moet zijn dan de som van de krachten, nodig om het roer in zijn uiterste stand te houden en om de veerdruk te overwinnen. Het stroomverbruik is dan ook in de uiterste stand vrij groot. Gelukkig duurt dat meestal maar kort, want al gauw is de bocht voltooid en als het stuurmechanisme stopt wordt de servo weer door zijn veer gratis naar de neutrale stand teruggetrokken. Toch zijn er modellen, zoals zeilboten, die soms minuten nodig hebben om een bocht te maken en dan zijn deze servo's niet aan te bevelen. Er gaat te veel stroom verloren. In dergelijke gevallen doet men verstandiger een niet neutraliserende servo te nemen, of, wat nog beter is, een elektrisch neutraliserende servo. Overigens hebben beide soorten hun voor- en nadelen. De

mechanische servo heeft geen ingebouwde contacten of schakelwalsen zoals de elektrisch neutraliserende servo met alle risico van vervuiling. Maar beide methodes hebben de laatste jaren een dergelijke graad van perfectie behaald, dat we niet kunnen zeggen, welke de beste is. Het hangt van de modelbouwer zelf af, waar zijn voorkeur naar uitgaat en voor welk doel hij het gebruikt.

We zullen diverse merken behandelen en dan kan men zelf een keuze maken. Er zijn voldoende soorten in de handel, om de juiste servo op de juiste plaats te kiezen. Het koppel, de afmetingen, het gewicht en vooral niet te vergeten de prijs, spelen hierbij een grote rol.

De mechanisch neutraliserende servo's hebben het voordeel, dat extreme krachten die door stoten of rukken op de stuurvlakken van een vliegtuig kunnen optreden, - en dat is niet zeldzaam bij stuntvliegen of landingsmanoeuvres - door de slipkoppeling worden opgevangen zodat ze geen beschadigingen kunnen veroorzaken in het mechanisme.

Het belangrijkste voordeel is wel de eenvoud van de bijbehorende stuurschakeling. Zie hiervoor het verschil tussen de figuren 27 en 28.

De Bellamatic II is een kleine, lichte, mechanisch neutraliserende servomotor van Graupner, die zeer betrouwbaar is vanwege zijn eenvoud en zijn goede motor, maar waarvan het koppel betrekkelijk gering is. De motor is van het type met ijzerloos anker, de z.g. "micromax" van de firma Faulhaber. Dit anker bestaat uit een spoel die in een magneetveld draait. Door het ontbreken van ijzer is er geen remmende werking van de statormagneet op het anker. Dit is noodzakelijk omdat de veer de servo naar zijn neutrale stand moet kunnen terugdraaien, en dan moet het anker gemakkelijk meedraaien. Tijdens het terugdraaien werkt de motor als generator en wekt een spanning op. Men maakt hiervan gebruik om het terugdraaien een beetje af te remmen. Daartoe wordt gedurende de terugloop de motor belast met een weerstand (zie fig. 22 en 23) waardoor wordt voorkomen dat de motor in zijn neutrale stand blijft uitslingeren. De teruglooptijd wordt hierdoor iets verlengd tot 0,5 à 1,3 seconden, afhankelijk van de waarde van de dempweerstand.

De technische gegevens van deze servo zijn:

afmetingen	38 x 26 x 36 mm
gewicht	40 g
bedrijfsspanning	2,4 V
stroomopname	300 mA
nuttige koppel	400 a 500 gr.cm

De slag van de hefboom is 30° t.o.v. de neutrale stand.

De servo is zeer geschikt voor het bedienen van richtingroer, ailerons en hoogteroer in kleine vliegtuigen (foto 17).

Mechanisch niet neutraliserende servo's

Deze worden gewoonlijk voor hulpfuncties gebruikt, althans voor werkzaamheden die minder belangrijk zijn dan de besturing. Na een gegeven commando blijven ze staan in de stand die ze dan hebben. Ze worden gebruikt o.a. voor snelheidsregeling en trimming. Ze draaien gewoonlijk wat langzamer dan de stuur servo's. Een vliegtuig is eigenlijk al perfect bestuurbaar met 8 kanalen, waarvan er 6 bestemd zijn voor: richtingroer, hoogteroer en ailerons en 2 voor gasregeling. In de praktijk blijkt het wenselijk te zijn om met een extra servomotor de neutrale stand van het hoogteroer en van de ailerons te kunnen verstellen. Dit moet tijdens het vliegen gebeuren omdat anders niet geconstateerd kan worden of de neutrale stand juist is. Trimming van het hoogteroer is nodig om het toestel horizontaal te laten vliegen. Vooral tijdens lange rugvluchten, zoals bij wedstrijden zijn voorgeschreven, is vaak een correctie nodig.

Trimming van de ailerons is gewenst om tijdens de vlucht de neutrale stand zódanig te corrigeren dat zuiver rechtuit wordt gevlogen. De richting van een vliegtuig wordt niet alleen door het richtingroer maar ook door de stand van de ailerons bepaald. Het sturen doet men bij voorkeur met beide tegelijk. Het trimmen van de richting doet men gewoonlijk alleen op de ailerons. Deze trimming is niet zo hard nodig als de hoogteroertrimming, omdat er toch regelma-

tig wordt gestuurd en het eist een uitbreiding met 2 extra kanalen, van 10 naar 12, en dat is het meestal niet waard. Alleen voor wedstrijdvliegen, waar het rechtuitvliegen nauwkeurig moet gebeuren, heeft men het er voor over. De trimming moet dan regelmatig worden bijgesteld wanneer na een bocht de zijwind van de andere kant komt. Voor het trimmen en voor de gasregeling gebruikt men speciale niet neutraliserende servomotoren met een grote vertraging, zodat nauwkeurig kan worden ingesteld. De krachten die voor de verschuivingen nodig zijn, zijn gering, zodat met kleine, lichte motoren kan worden gewerkt.

De mechanisch niet neutraliserende servomotoren zijn uitgerust met een slipkoppeling om vastlopen in de uiterste standen te voorkomen (zie ook foto 16).

Een veelvoorkomend type is de Graupner Servo Automatic II (foto 18), waarvan de technische gegevens zijn:

afmetingen	59 x 20 x 26 mm
gewicht	40 g
koppel	2250 gr.cm.
tijd voor 45° uitslag	0,9 sec.
bedrijfsspanning	2,4 V
stroomopname bij 100 gram belasting	30 mA

In enkele gevallen wordt de niet neutraliserende servo voor sturing gebruikt. B.v. bij zeilboten, waar het roer vaak langdurig een kleine uitwijking van de middenstand moet hebben om rechtuit te varen en waarbij de bochten veel tijd vergen. Dit soort servo's is daar beter voor geschikt dan de zelfneutraliserende. De grotere vertraging is gewoonlijk geen bezwaar. Hetzelfde geldt voor de bediening van de zeilen. Men moet er wel op rekenen, dat bij grote zeilboten hiervoor vrij veel kracht nodig is; de vertraging mag ook niet al te groot zijn, omdat overstag gaan binnen ongeveer 8 seconden moet gebeuren (zie foto 21 en 22).

Vaak is het moeilijk om te beoordelen in welke stand het roer staat. Soms breidt men de servo dan uit met de twee microschakelaars (zie foto 18), die een

rode en een groene lamp inschakelen als de servo in één van de uiterste standen staat.

Verder kan de Servo Automatic II ook als trim servo voor het hoogteroer worden gebruikt. De constructie hiervoor is schematisch weergegeven in figuur 33.

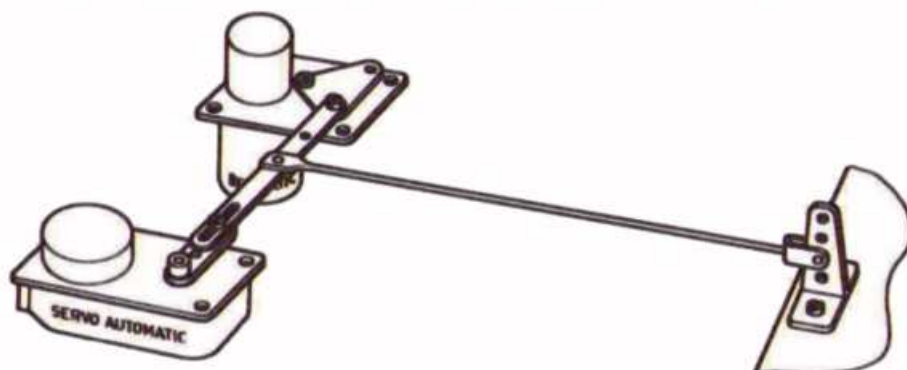


Fig. 33 Stuurmotor (Bellamatic II) en trim (Servo Automatic II) van het hoogteroer

Nog een veel voorkomende niet neutraliserende servo is de snelheidsregelaar van Graupner waarmee met behulp van een zware regelweerstand de stroom door een aandrijfmotor kan worden ingesteld (foto 19).

Elektrisch neutraliserende en niet neutraliserende servo's

Deze servomotoren bezitten een contactwals die meestal bestaat uit 3 banen, verdeeld in 2 delen; over ieder deel glijdt een stel contactveren (zie foto 20). De grootste van deze banen is de gemeenschappelijke, die voortdurend in contact blijft met de contactveren. Ze komen onder spanning, zodra er een commando wordt gegeven. De contactveren geleiden de stroom naar een iets kortere baan, via welke de motor wordt gevoed. Wanneer de contactveren aan het einde van de baan komen glijden ze van de kortere baan af en de motorstroom wordt verbroken. Intussen is een veel kortere contactbaan van het andere deel in contact gekomen met de veren en zodra nu het commando wordt opgeheven, komt deze contactbaan onder spanning en de motor loopt terug tot zijn neutrale stand (zie figuur 21). Door nu deze korte banen, de z.g. neutralisatiebanen,

te verbreken, wordt het neutraliseren weggenomen en de servo verandert van een neutraliserende in een niet-neutraliserende servo.

De voor- en nadelen van deze servo's liggen voor de hand.

Voordelen:

- a. In de eindstanden wordt de motor uitgeschakeld; er is dan geen stroomverbruik meer.
- b. Het neutraliseren gebeurt door de motor; d.w.z. de teruggaande beweging gebeurt met dezelfde kracht als de heengaande beweging.
- c. Geen noemenswaardige uitslingering bij het terugkeren in de neutrale stand.
- d. Gemakkelijk te veranderen van neutraliserende in niet neutraliserende servo.
- e. Uitwisselen van contactbanen biedt meerdere mogelijkheden.

Nadeel:

Kans op slechte contacten van de contactwals ten gevolge van vonkvorming en corrosie.

Dit probleem heeft men weten op te lossen door de contactbanen en de contactveren te bedekken met een laagje edelmetaal om een geringe overgangsweerstand te garanderen. Vooral bij servo's waarin schakeltransistors het schakelen van de motorstromen voor hun rekening nemen komt het inbranden niet meer voor, waardoor de betrouwbaarheid aanzienlijk heeft gewonnen. De Amerikanen brengen een zeer populaire servo in de handel, de "Transmite", waarin een complete transistorschakeling met 6 transistors is ondergebracht. Hierin voert de contactwals alleen nog maar de basisstromen van de schakeltransistors, die tientallen malen geringer zijn dan de motorstroom zelf (fig. 28). Op foto 20 is de constructie van de Transmite zichtbaar.

Opmerking: De niet zelfneutraliserende servo's (dus die waarvan we de neutralisatiebanen verbroken hebben) worden meestal gebruikt voor het instellen van bepaalde organen, zoals gasregeling, trimmen van hoogteroer en ailerons e.d. Om tijd te hebben voor het kiezen van de gewenste stand moet de snelheid van de servo klein zijn.

De zelfneutraliserende servo's echter, die voor de stuurorganen bestemd zijn, moeten juist een grote snelheid hebben om snel te kunnen manoeuvreren. Daarom verdient het aanbeveling om servomotoren te kiezen die mechanisch voor hun doel geschikt zijn, dus met de juiste vertraging.

We zullen twee van de vele elektrisch neutraliserende servo's in het kort behandelen.

De firma Robbe brengt een elektrisch neutraliserende 2-kanalenservo, die speciaal voor stuurorganen bestemd is en een elektrisch niet neutraliserende servo die voor gasregeling of trimdoeleinden is ontworpen. Ze staan bekend onder de naam Rofunk stuurmotor en Rofunk gasregelingsmotor. De technische gegevens zijn:

Stuurmotor zelfneutraliserend	FR 3B/gold	nr. 7255
	afm. 65 x 26 x 23	
	gewicht 62 g	
	spanning 3 x 1,5 V	
	stroom 60 mA	
Gasregelingsmotor niet neutraliserend	FE 3B	nr. 7268
	afm. 40 x 40 x 23	
	gewicht 45 g	
	spanning 1 x 1,5 V	
	stroom 100 mA	

Over het onderwerp servomotoren is het laatste woord nog niet gesproken; daar kan men eindeloos over doorgaan. We hebben van de belangrijkste typen de mogelijkheden en de prestaties beschreven. Dit lijkt ons voldoende om een idee te geven waar men op moet letten. Bij elke servomotor behoren een beschrijving en een schema, zodat men bij aankoop altijd voldoende wordt ingelicht, ook als het een type betreft dat hier niet is behandeld. De winkelier zal er zelf wel het nodige aan toevoegen. Ook hier geven we de raad om ieder die in dit vak thuis is het hemd van het lijf te vragen!

PRAKTISCHE ONTVANGERSCHAKELINGEN

Er worden in dit hoofdstuk 4 ontvangsystemen behandeld die bij de 4 zenders behoren uit hoofdstuk 10, deel I. Er is nog een afluisterontvanger aan toegevoegd die bijzonder nuttige diensten kan bewijzen tijdens de bouw van de zender en het werken ermee.

Ontvangsystemen voor radiobesturing zijn gewoonlijk samengesteld uit de volgende delen:

1. ontvangantenne
2. hoogfrequentgedeelte + laagfrequentversterker
3. filterunit
4. schakelgedeelte
5. servomechanisme en aandrijfmotor
6. voeding
7. het model zelf

De elektronische delen die we gaan maken moeten natuurlijk wat afmetingen betreft in het model passen en bij vliegtuigen niet te zwaar worden.

Voor kostbare modellen zal men bij voorkeur de beste spullen bestemmen, vooral als er risico's aan vast zitten, zoals bij vliegtuigen het geval is. Bij goedkope modellen daarentegen zal een eenvoudige ontvanginstallatie beter op zijn plaats zijn. Zo moet een ieder voor zichzelf uitmaken wat hem het beste uitkomt. Er is keus genoeg.

De ontvanginstallaties die hier worden beschreven kunnen op vele manieren worden samengesteld. Wij hebben zo maar een paar willekeurige combinaties gemaakt om een indruk te geven van hoe het kan. Maar elk beschreven ontvangtype kan worden gekoppeld met de diverse filtertypen en schakelsystemen. Veel hangt af van het doel, de gewenste reikwijdte, betrouwbaarheid enz., maar

vooral van uw kunnen op dit gebied. Grijp vooral niet boven Uw macht en maak af wat U bent begonnen. Schaf een hoogohmige koptelefoon aan om op de ontvangeruitgang te kunnen luisteren of de zender goed doorkomt.

Ontvanger I, ruisontvanger

De eenvoudigste ontvanger met redelijke gevoeligheid is de z.g. ruisontvanger. Zijn toepassingsgebied ligt daar waar geen grote afstanden moeten worden overbrugd en waar betrouwbaarheid niet erg belangrijk is. Hij komt voor in de sigarenkist van foto 23, die met de zender uit deel I blz.125 kan worden geopend.

De werking van de ruisontvanger berust eigenlijk op een slechte eigenschap van de superregeneratieve ontvanger: zijn ruis. Zodra een draaggolf binnenkomt verdwijnt de ruis en van dat feit maken we gebruik. De zender kan daarvoor heel simpel zijn, omdat een ongemoduleerde draaggolf al voldoende is.

Er zijn 2 schakelingen mogelijk, één met een relais in de uitgang (fig.34) en de ander met een transistor (fig.35). Beide schakelingen hebben dezelfde superregeneratieve ontvanger met laagfrequentversterker. De ruis uit het superregeneratieve deel wordt door de laagfrequentversterker tot een paar volt opgevoerd en daarna door de diodes D1 en D2 gelijkgericht. De versterking kan worden ingesteld met R12 door de emitter via C13 meer of minder te ontkoppelen.

In figuur 34 wordt van de ruis een positieve spanning gemaakt die de p-n-p-transistor TR5 dichtdrukt. Met regelaar R12 kan de grootte van de positieve spanning zodanig worden ingesteld dat TR5 net dicht zit. Wanneer nu door een draaggolf de ruis verdwijnt zal de positieve spanning wegvallen en TR5 wordt door de basisstroom via R16 en R17 opengetrokken. Met R17 kan de basisstroom worden ingesteld en daardoor ook de collectorstroom door het relais RE1 die bij afwezigheid van de ruis dan moet aantrekken.

Na wat experimenteren met de regelaars R12 en R17 kan een optimum aan

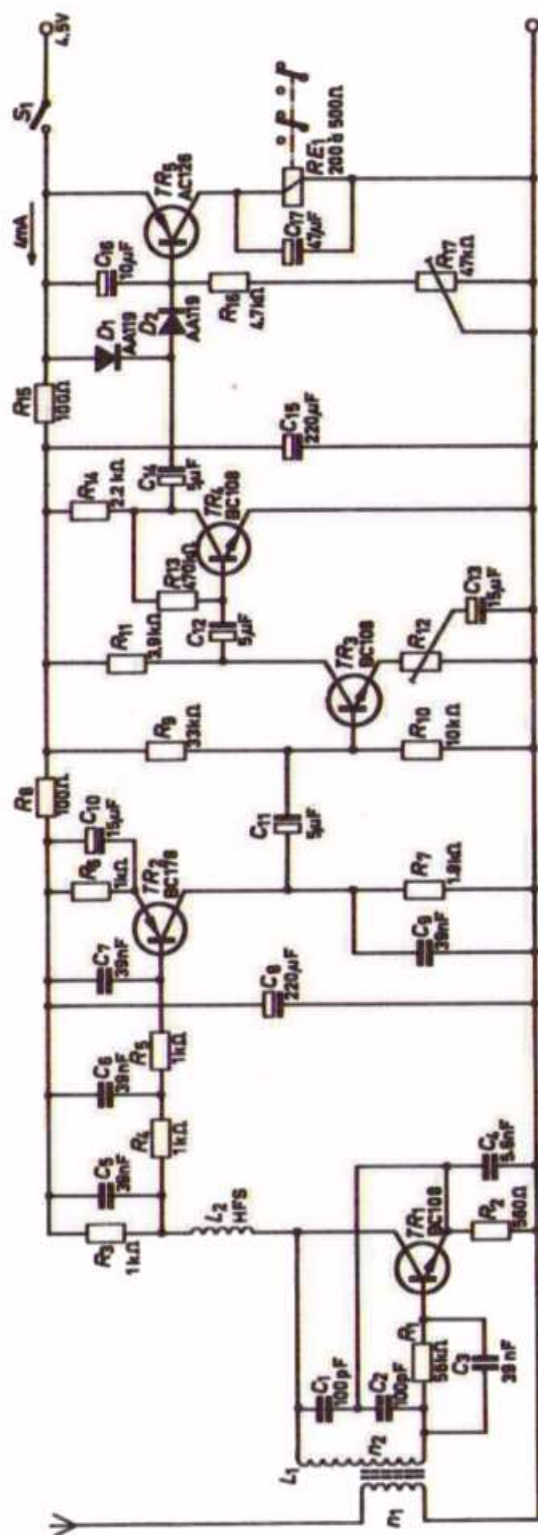


Fig. 34 Ruisontvanger met relaisuitgang

L_1 { $n_1=3$ wind. draaddiam. 0,25 mm. Spoeldiam. 4 mm met poederijzerkern
 $n_2=15$ wind.

L_2 HF-smoorspoel, 100 wind., 0,1 mm emaliedraad, spoeldiam. 4 mm

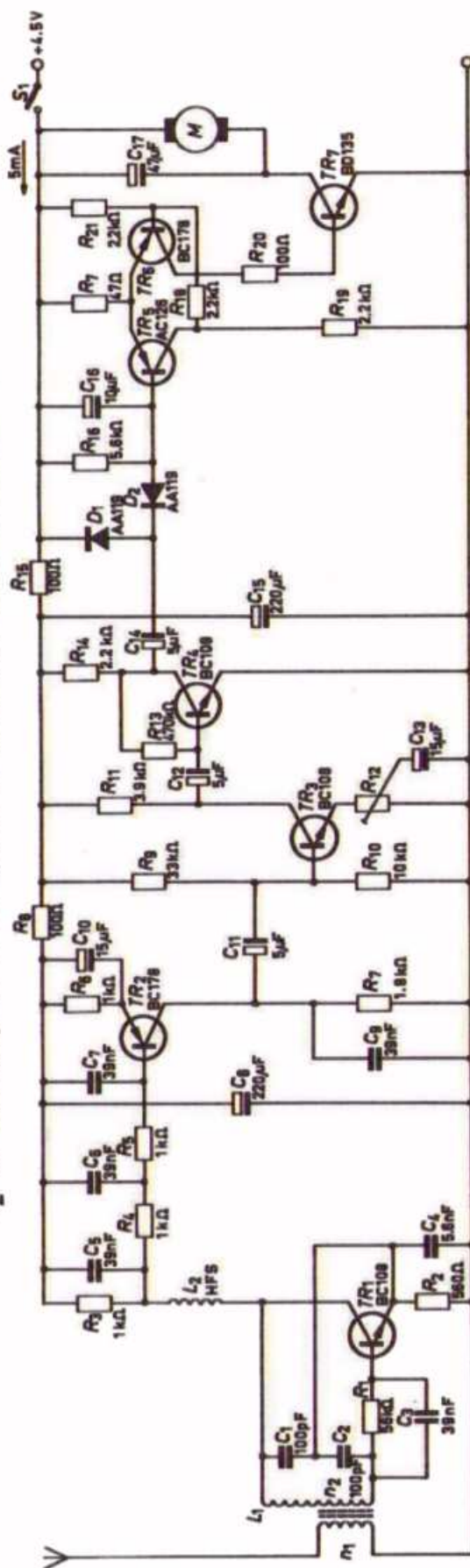


Fig. 35 Ruisontvanger met transistoruitgang

L_1 { $n_1 = 3$ wind. draad diam. 0,25 mm. Spoelkoker diam. 4 mm met poederijzerkern
 $n_2 = 15$ wind.

L_2 HF-smoorspoel, 100 wind., 0,1 mm emaliedraad, spoeldiam. 4 mm

gevoeligheid worden gevonden.

Een relaisuitgang heeft het voordeel dat er meerdere schakelmogelijkheden zijn en dat hetgeen geschakeld moet worden los van het ontvangcircuit ligt. Men kan dan zelfs netspanning schakelen.

In ons geval, waar alleen maar een motortje in- en uitgeschakeld moet worden is een transistoruitgang zeer geschikt. Hier wordt de ruis door de diodes D1 en D2 (fig. 35) veranderd in een negatieve gelijkspanning die TR5 opent. Deze transistor maakt deel uit van een z.g. Schmitttrigger die, door de gemeenschappelijke emitterweerstand R17 voor TR5 en TR6, de eigenschap heeft als een soort schakelaar te functioneren. Als TR5 open is, is TR6 dicht en omgekeerd. Half open is hierbij niet mogelijk.

Wanneer nu de ruis wegvalt zal TR5 dichtgaan en TR6 openen, die op zijn beurt weer de schakeltransistor TR7 opent en de motor M van stroom voorziet. Met R12 kan de gevoeligheid worden ingesteld.

De motor wordt door C17 enigszins ontstoord. Er zijn diverse motoren voor dit doel bruikbaar. Elke speelgoedmotor van $4\frac{1}{2}$ volt is goed, hoewel de ene meer radiostoring en lawaai veroorzaakt dan de andere. Een philishavemotor van een batterijshaver bleek redelijk te voldoen.

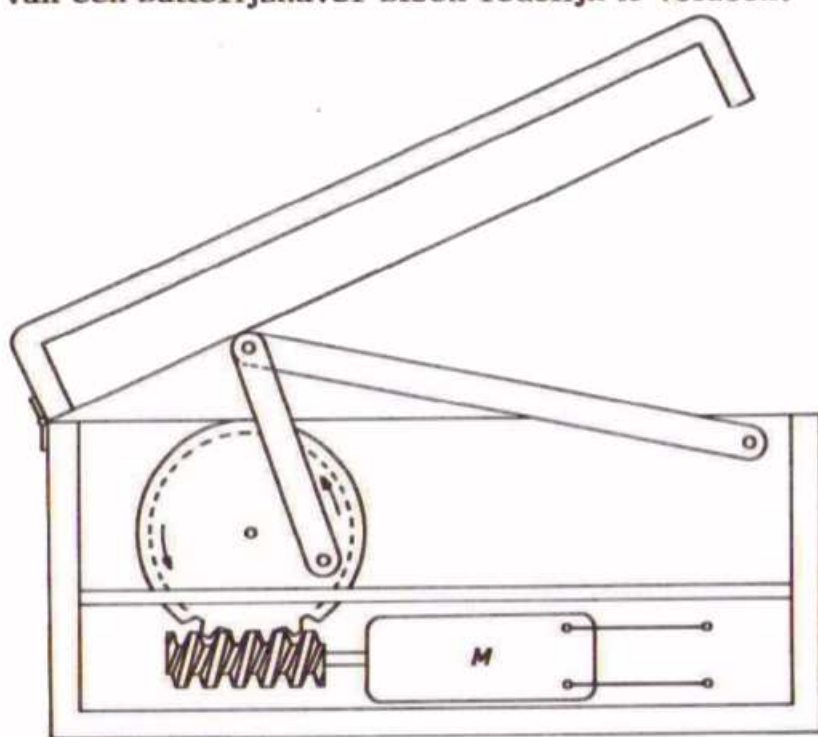


Fig. 36

Als antenne kan een draad dienen van ongeveer 20 à 30 cm lengte die aan de binnenkant van de deksel wordt aangebracht en via het scharnier met de ingang van de ontvanger wordt verbonden. Het mechaniekje is geschetst in figuur 36. De vertraging is ongeveer 1 op 250.

De doos heeft een dubbele bodem (foto 24) met daarin de ontvanger, de $4\frac{1}{2}$ V-batterij en een deel van het mechaniek.

Het stroomverbruik is ongeveer 5 mA als er geen draaggolf wordt ontvangen.

De maximale reikwijdte met bovengenoemd zendertje is ongeveer 5 m.

Ontvanger II, eenkanaalontvanger

Auto's en kleine boten worden veelal uitgerust met een eenvoudige éénkanaal-superregeneratieve ontvanger volgens figuur 37. Dit soort ontvangers is zeer aantrekkelijk vanwege hun eenvoud, kleine afmetingen en lage kosten. Het superregeneratieve deel is een soort collpitsoscillator die steeds in en uit genereren slaat. De laagfrequenttrilling die over R3 ontstaat is zwaar bezwangerd met de quenchfrequentie. Het filter C5-R4-C6-R5-C7 dat nodig is om

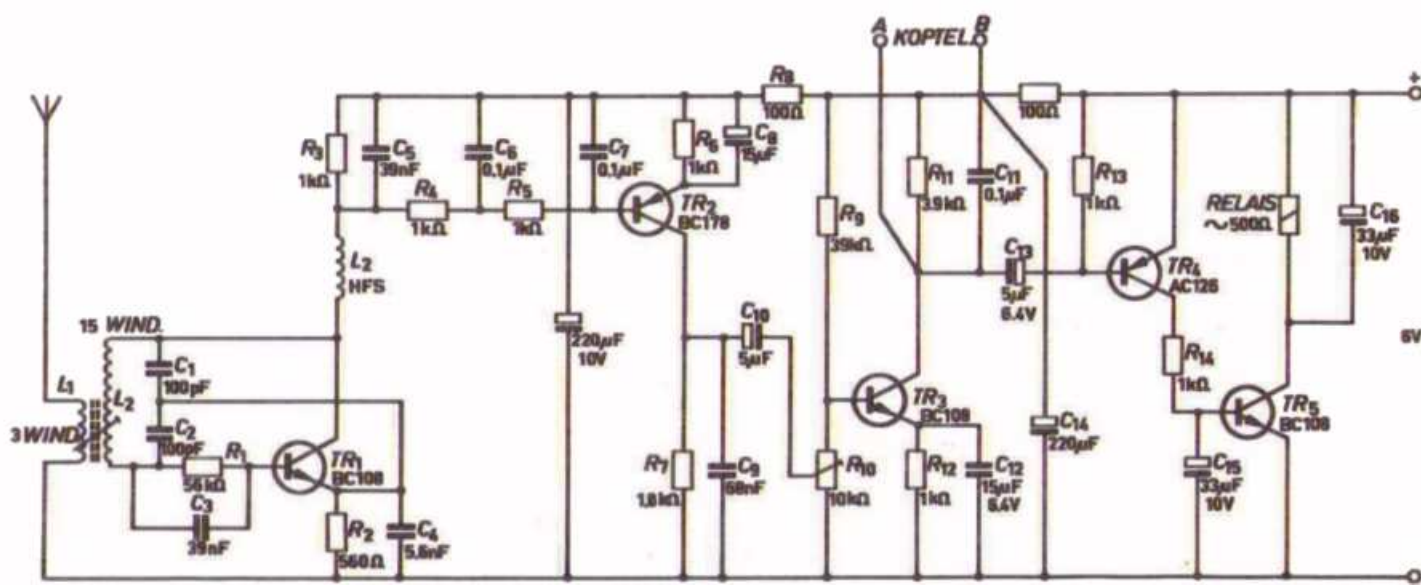


Fig. 37 Eénkanaalontvanger

L_1/L_2 op spoelkoker van 4 mm diam. met poederijzerkern

L_1 = 3 wind., 0,25 mm emaille draad, L_2 = 15 wind., 0,25 mm emaille draad

HFS = hoogfrequent smoorspoel, 100 wind., 0,1 mm emaille draad, spoeldiam. 6 mm

deze quenchfrequentie weg te werken is zodanig gedimensioneerd dat alle frequenties boven de 400 Hz snel in sterkte afnemen. Hieraan werken ook de condensatoren C9 en C11 mee.

Aan de andere kant hebben we ook geen behoefte aan de frequenties beneden de 200 Hz. Om die te verzwakken zijn de ontkoppelcondensatoren C8 en C12 over de emitterweerstandens betrekkelijk klein gekozen, n.l. $15\ \mu\text{F}$. Dit geeft voor de allerlaagste frequenties wat meer tegenkoppeling. Zo ontstaat er dus een brede doorlaatkromme rondom 300 Hz en dat is de frequentie waarmee de meeste éénkanaalzenders worden gemoduleerd.

De laagfrequenttoon die op de basis van TR2 overblijft is zeer klein, ongeveer 1 mV. Er volgt $2 \times 40 \times$ versterking door de transistors TR2 en TR3, zodat er op de collector van TR3 ongeveer $1\frac{1}{2}$ volt ontstaat. Deze laagfrequentspanning wordt dan door TR4 gelijkgericht en tenslotte wordt de gelijkstroom in de collectorleiding van TR4 verder versterkt door TR5, zodat deze in staat is het relais te schakelen. De condensatoren C15 en C16 zorgen ervoor dat de gelijkstroom door het relais ontdaan wordt van de resten laagfrequentspanning.

Het afregelen van de ontvanger gaat als volgt in zijn werk: De zender wordt op grote afstand van de ontvanger opgesteld, zodat de modulatie met een koptelefoon nog juist hoorbaar is. Dan draait men de hoogfrequentkring naar maximale toonsterkte. Opnieuw vergroot men de afstand tot aan de grens van de reikwijdte en regelt verder bij naar het optimum. Vervolgens wordt regelaar R10 zodanig afgesteld dat het relais aantrekt als de draaggolf wordt gemoduleerd. Bij deze proef moet de koptelefoon worden weggenomen.

Men moet wel in de gaten houden of het relais werkelijk op onze toon reageert; daarom moet de modulatie steeds in- en uitgeschakeld worden.

In figuur 38 is getekend hoe de servomotor en de aandrijfmotor zijn verbonden. Also servomotor wordt de kinematic (blz. 80) gebruikt of een gelijksoortige éénkanaalservo. Het is mogelijk om hiermee 6 functies te verrichten. De servo werkt op een voedingsspanning van $4\frac{1}{2}$ V. We gebruiken hiervoor een aparte batterij. Meestal wordt ook de boordverlichting er op aangesloten en

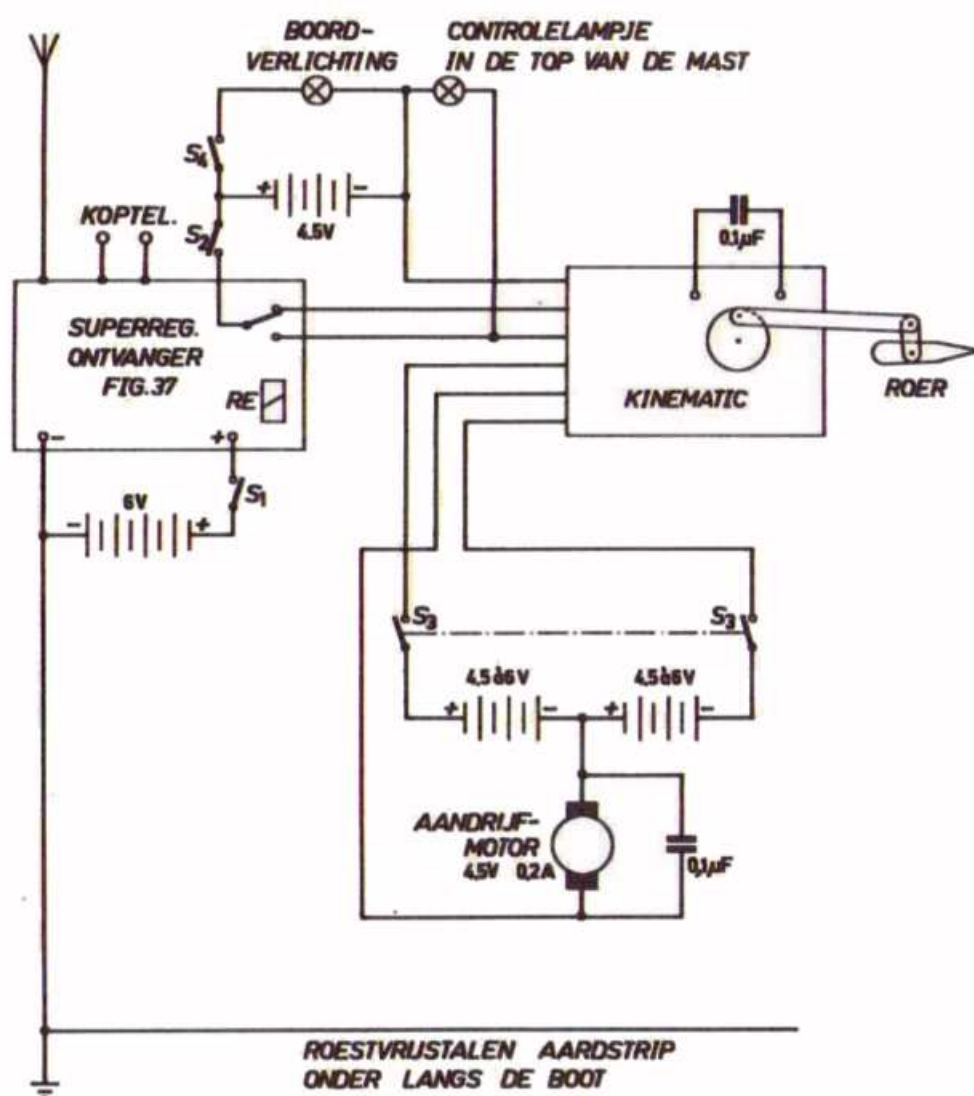


Fig. 38 Bedrading van de "Marijke Levina"

het controlelampje in de top van de mast, dat aangaat als het relais intrekt, ten bewijze dat ons commando goed doorkomt.

De aandrijfmotor wordt gevoed door 2 batterijen van $4\frac{1}{2}$ volt, één voor vooruit en één voor achteruit. Het schakelen gebeurt door korte commandopulsen. Een schakelwals wordt daardoor telkens één stapje verdraaid. De aandrijfmotor wordt overbrugd door een ontstoringcondensator. Een geschikte motor voor dit doel is de 2 watt-motor van Philips, zoals te zien is op foto 35. De ontvanger zelf wordt gevoed door een 6-volts batterij die is opgebouwd uit 4 penlightcellen in een daarvoor bestemde houder.

De aardleiding bestaat uit een roestvrij stalen strip onder langs de kiel van de boot. Een goed contact met het water vergroot de reikwijdte aanzienlijk.

In figuur 38 is weergegeven hoe het roer wordt bevestigd. De spil waarom het roer draait - in vaktermen spreekt men van de roerkoning - wordt niet aan het uiteinde van het roerblad bevestigd maar op ongeveer $\frac{1}{4}$ daarvan. Dit geeft een balancerende werking, waardoor de krachten die nodig zijn om het roer om te gooien klein kunnen zijn. Dit z.g. balansroer is voor de kinematic wel noodzakelijk omdat de kracht die deze servo kan ontwikkelen te kort schiet als de boot op volle snelheid vaart.

Op foto 25 is een boot van ongeveer 60 cm lengte afgebeeld, die uitgerust is met het hier beschreven éénkanaalsysteem.

Zoals al vaker ter sprake kwam is een boot met een dergelijke ontvanger alleen geschikt voor solowerk. Door de slechte selectiviteit worden alle zenders die in de 27,12 MHz-band werken opgevangen, waardoor het onmogelijk is om met meerdere boten tegelijk te varen. Voor wedstrijden is dit systeem dus niet geschikt. Dit kan alleen als het ontvanggedeelte vervangen wordt door een superheterodyne ontvanger zoals is afgebeeld in figuur 15. Door het feit dat de ontvanger zelf een signaal uitstraalt (zie hoofdstuk 4) wordt deze boot nog meer geaccentueerd voor solowerk, omdat andere boten die in zijn omgeving komen daar behoorlijk last van kunnen hebben.

Niettegenstaande deze bezwaren is dit systeem bijzonder aantrekkelijk door zijn eenvoud, zowel van de zender als van de ontvanger met servomechanisme (foto 26).

Ontvanger III, vijfkanalenontvanger

We beschrijven nu de 5-kanalenontvanger met toebehoren die in de boot "Holiday" (foto 27) is gebruikt. De bijbehorende zender is beschreven in deel I, blz. 128. Voordat we het elektrische deel behandelen eerst iets over het mechanische deel van de boot.

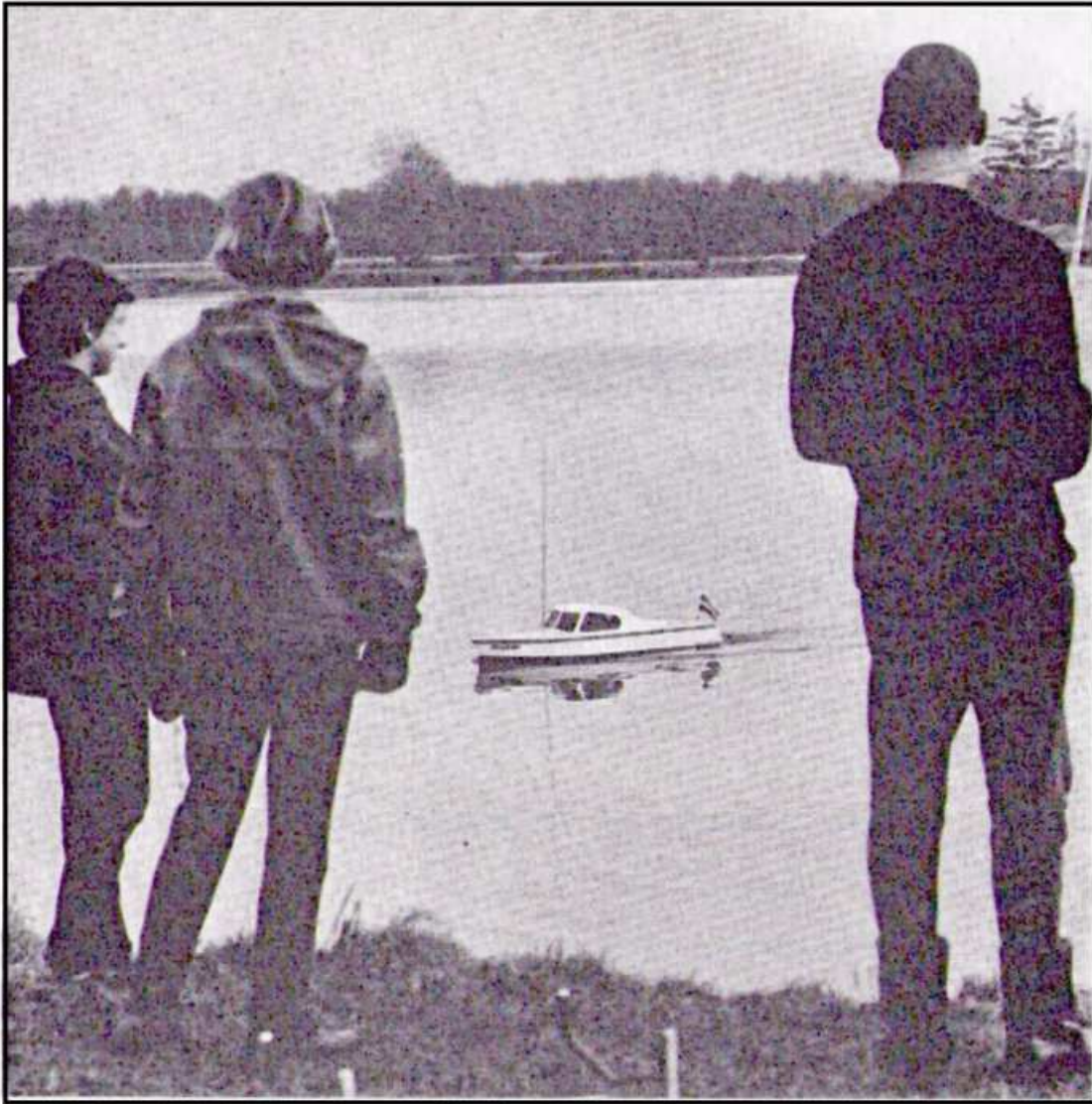


Fig. 29. De „Holyday“ in volle vaart. Vaartijd 2 uur; snelheid 7 km/uur.

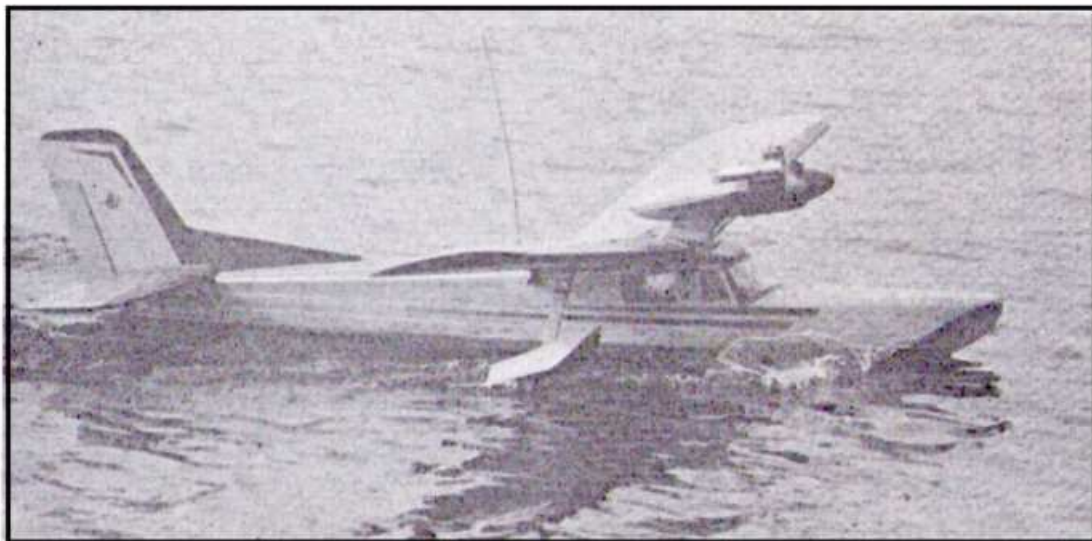


Foto 30. Dit watervliegtuig wordt bestuurd door 8 kanalen met elektrische filters volgens fig. 43 (foto KVVVL). 2 kanalen voor links-rechts, 2 kanalen voor hoog-laag, 2 kanalen voor volgas-halfgas, 2 kanalen voor ailerons. (Zie ook Deel I, blz. 32.)



Foto 31. Landingsmanoeuvre na een succesvolle vlucht van Jan van Vliet met zijn twaalfkanalenvliegtuig tijdens de nationale kampioenschappen radiobesturing (foto KNVVL). Het toestel is uitgerust met een superheterodyne-ontvanger en een twaalfkanalen-reedrelais (fig. 44). (Zie ook Deel I, blz. 34.)

Foto 32. Afluisterontvanger volgens schema 46.



Foto 33. Batterijen. Van links naar rechts: penlightcel 0,6 à 1 A·h; cel 1,5 à 2,5 A·h; monocel 3 à 5 A·h; platte $4\frac{1}{2}$ volts batterij 1 à 1,5 A·h; houder voor vier penlightcellen, houder voor zes penlightcellen, houder voor vier monocellen.

Aandrijfmotor

De boot is vrij groot: 1,25 m lang en 30 cm breed; er is dus een krachtige aandrijfmotor nodig om hem voort te stuwten. We hebben daarvoor een oude ventilatormotor van een autokachel genomen. Een dergelijke motor neemt een vermogen op van ongeveer 15 watt, d.w.z. de 6-volts uitvoering gebruikt ongeveer $2\frac{1}{2}$ A en de 12-volts ongeveer $1\frac{1}{4}$ A. De laatste is beter geschikt om met transistors te worden geschakeld dan de eerste omdat het spanningsverlies in de transistors t.o.v. 12 V minder invloed heeft dan t.o.v. 6 V.

De meeste van deze motoren hebben een seriewikkeling op de stator en dat is zeer gunstig, want dan past het toerental zich goed aan aan de belasting. Onbelast lopen ze zeer snel en hoe groter de spoed van de schroef, dus hoe hoger de belasting, hoe langzamer ze draaien. Het stroomverbruik is ongeveer evenredig met de belasting.

Deze motoren hebben één draairichting, ook als de plus en de min worden verwisseld. We zullen voor 2 draairichtingen de rotor moeten scheiden van de statorwikkeling. Dus de koolborstelaansluiting wordt losgemaakt en naar buiten uitgevoerd zo ook de aansluitdraden van de veldwikkeling. Door alleen de rotor om te polen verandert de draairichting wel.

De schroefas wordt door middel van een flexibele koppeling aan de motoras bevestigd. Het is wel gewenst, dat beide assen goed in elkaars verlengde staan. Dit voorkomt wrijving, slijtage en energieverlies. Het kan zijn dat de aandrijfmotor veel radiostoring opwekt. Dit kan men constateren door met een koptelefoon op de ontvangeruitgang te luisteren. Is de storing zo sterk dat de reikwijdte er veel door wordt verkleind dan moet men er wat aan doen.

Om te beginnen: een onstoringscondensator van $0,1 \mu\text{F}$, parallel aan de rotor. Is het dan nog te sterk, dan leze men hoofdstuk 10.

Stuurmotor

We hebben hier een niet neutraliserende stuurinrichting gemaakt. Dit is bij

grote boten wat praktischer dan een stuurinrichting die wel neutraliseert, omdat het maken van bochten vrij veel tijd kost en het betreffende toonkanaal gedurende die tijd in moet blijven staan. Nu drukt men naar links of rechts en bij loslaten blijft het roer staan in de stand die het op dat moment heeft (foto 28)

In de uiterste standen loopt de roerarm tegen een microschakelaar die de motor uitschakelt (S1 en S2 in de figuren 40 en 41).

De stuurmotor zelf is een gewone gelijkstroommotor van b.v. 6 V met permanente magneet. Veel vermogen is er niet voor nodig, ongeveer 1 watt. Er is daarom een vrij grote vertraging nodig (ongeveer 1000 : 1) om de gelegenheid te krijgen op de juiste roerstand te stoppen. De vertraging moet zó zijn, dat van geheel links naar geheel rechts draaien 3 à 5 seconden duurt.

Elektronisch gedeelte

In figuur 39 is het blokschema getekend. Als ontvanger kan men kiezen tussen een superregeneratieve - bij voorkeur met HF-voortrap (fig. 12) - of een superheterodyne volgens figuur 15. We geven de voorkeur aan de eerste vanwege zijn simpele bouw. De antenne is uitschuifbaar, totale lengte ongeveer 1 meter; de aardleiding bestaat uit een roestvrij stalen strip onder langs de kiel van de boot.

De ontvanger wordt gevoed door een aparte batterij van 6 volt. De uitgang van de ontvanger gaat naar de filterunit. De volumeregelaar moet zódanig zijn ingesteld dat bij een gemiddelde afstand tussen zender en ontvanger de filters goed aanspreken als de instelling van 470 k Ω trimpotmeters ongeveer in het midden is.

De filterunit met de daarbijbehorende schakelunit voor de motoren kan op 2 manieren worden gemaakt: bij de eerste is het schakeldeel uitgerust met relais en bij de tweede met transistors en een paar integrated circuits. De eerste is eenvoudiger dan de tweede, maar de tweede is moderner. Het voordeel van

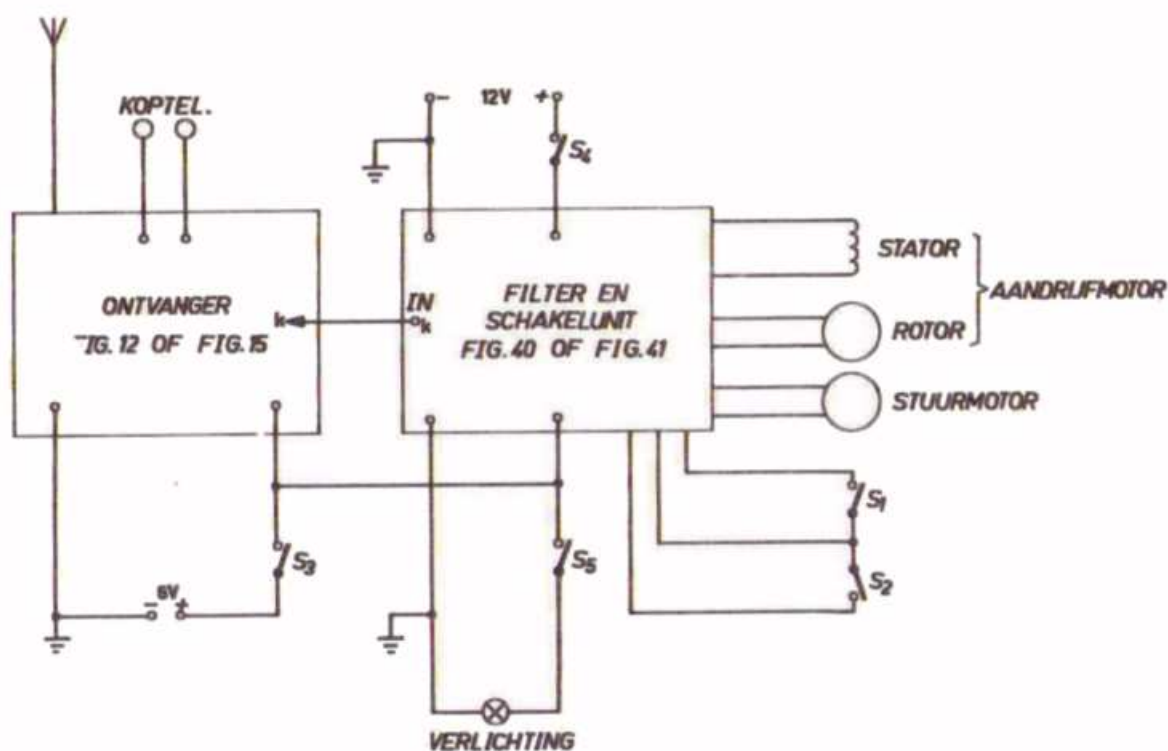


Fig. 39 Blokschema van de boot "Holiday"

relais is, dat men kan zien wat er gebeurt, maar de transistors werken betrouwbaarder. Wij hebben de laatste gekozen.

Filterunit met relaisschakeling

Vanaf de ontvanger gaan de tonen naar 5 resonantiekringen via 5 instelweerstanden waarmee de gevoeligheid kan worden afgeregeld. De werking van de filterunit werd reeds uitvoerig beschreven op blz. 70. De spoel- en condensatorgegevens zijn vermeld in TABEL VI.

We kunnen kiezen uit de potkernen type P 18/11, of type P 22/11, met $\mu_{\text{eff}} = 220$ en $\alpha = 46,5$, respectievelijk 42,4 (zie blz. 103 en 104, deel I).

De berekening van het windingsgetal gebeurt met de formule $N = \alpha \sqrt{L}$.

De resonantiefrequenties van de filters komen niet zo heel precies omdat de toongenerator van de zender gemakkelijk kan worden verstemd (deel I, fig. 80).

TABEL VI

Frequentie	Zelfinductie	Aantal wind. P 18/11	Aant. wind. P 22/11	Afstemconden- sator
Kanaal I 875 Hz	$L_1 = 1000 \text{ mH}$	$N_1 = 1470$ windingen 0,1 mm draad	$N_1 = 1340$ windingen 0,1 mm draad	$C_1 = 33 \text{ nF}$
Kanaal II 1110 Hz	$L_2 = 850 \text{ mH}$	$N_2 = 1350$ windingen 0,1 mm draad	$N_2 = 1235$ windingen 0,1 mm draad	$C_2 = 22 \text{ nF}$
Kanaal III 1700 Hz	$L_3 = 585 \text{ mH}$	$N_3 = 1120$ windingen 0,1 mm draad	$N_3 = 1025$ windingen 0,1 mm draad	$C_3 = 15 \text{ nF}$
Kanaal IV 2325 Hz	$L_4 = 470 \text{ mH}$	$N_4 = 1000$ windingen 0,1 mm draad	$N_4 = 920$ windingen 0,1 mm draad	$C_4 = 10 \text{ nF}$
Kanaal V 3000 Hz	$L_5 = 283 \text{ mH}$	$N_5 = 780$ windingen 0,1 mm draad	$N_5 = 714$ windingen 0,1 mm draad	$C_5 = 10 \text{ nF}$

In het collectorcircuit van elke filtertransistor is een relais opgenomen. Elk relais heeft 2 stel omschakelcontacten, waarvan één stel gebruikt wordt om de motoren te schakelen, en het andere om ten eerste het relais aangetrokken te houden nadat een kort commandosignaal is gegeven (vasthoudcontact, geheugen) en ten tweede om de vooruit- en achteruitstanden t.o.v. elkaar te vergrendelen. Dit gebeurt door de emitterleiding van het vooruitkanaal te laten lopen over een relaiscontact van het achteruitkanaal en omgekeerd. Als een relais eenmaal aangetrokken is, dan blijft het aangetrokken door het vasthoudcontact en zolang zal ook het andere kanaal geblokkeerd blijven. Het relais kan alleen afvallen als het stoprelais RE₃ even inkomt, want dan wordt het vasthoudcircuit stroomloos.

Het circuit van de aandrijfmotor staat geheel op zichzelf en heeft niets te maken met andere circuits. Dit heeft het voordeel dat elke willekeurige motor, wat voor voedingsspanning V_1 hij ook heeft, kan worden gebruikt.

De schakeling is eenvoudig. Alleen de rotor wordt omgepoold. We zien in het schema dat op de maak- en de verbreekcontacten van het relais de volle voedingsspanning staat. Onder geen voorwaarde mag het wisselcontact in staat zijn deze contacten te verbinden, want dat zou een volledige kortsluiting bete-

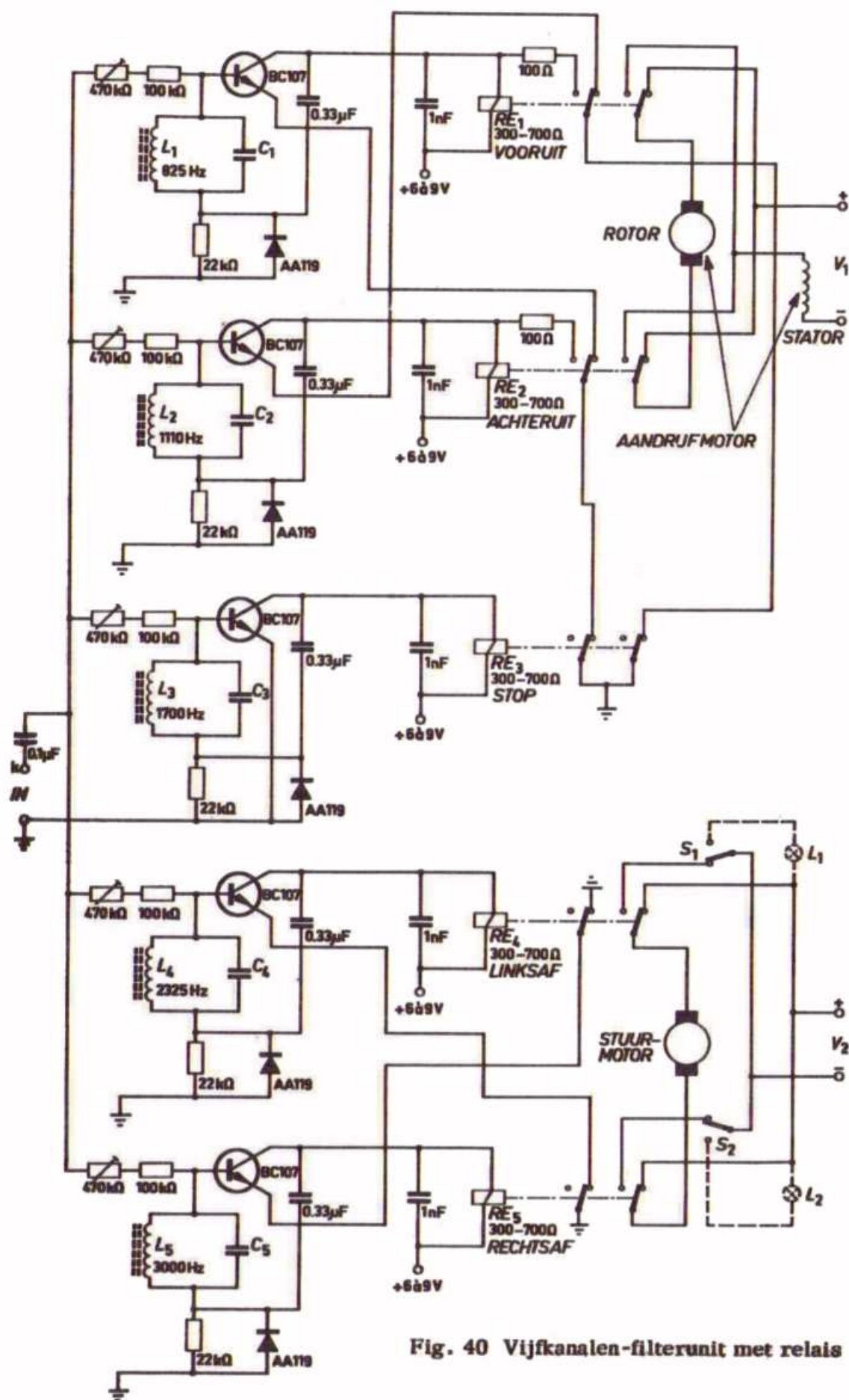


Fig. 40 Vijfkanalen-filterunit met relais

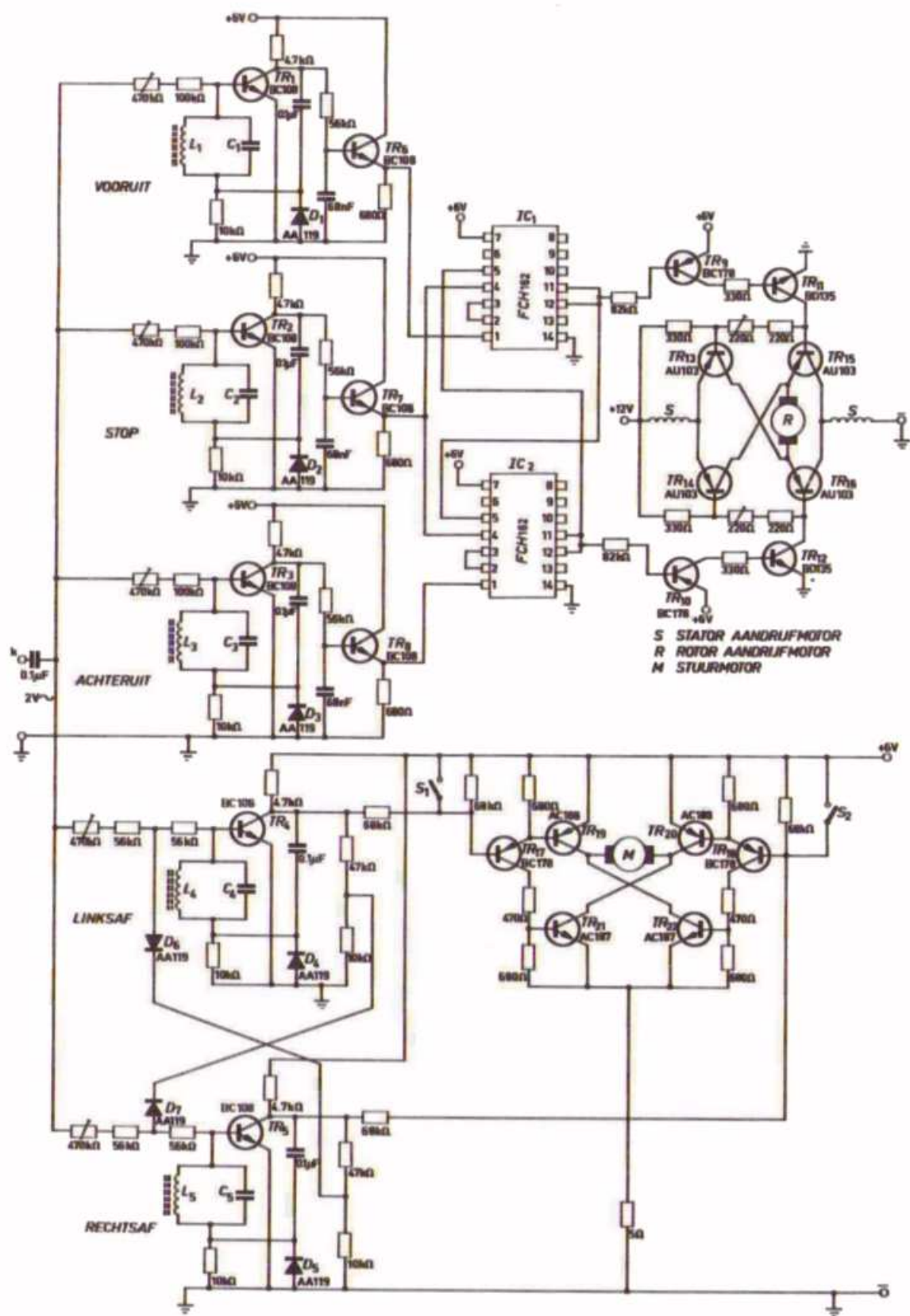


Fig. 41 Vijfkanalen-filterunit met schakeltransistors

kenen. De contactafstand moet dus zo groot zijn dat het wisselcontact het verbreekcontact loslaat vóórdat het maakcontact wordt gesloten. Verder moeten de contacten sterk genoeg zijn om de motorstroom te kunnen schakelen. Deze kan op het moment van inschakelen diverse ampères zijn. Het is raadzaam om regelmatig te controleren of de contacten niet te veel inbranden. Ook hier kan een parallelcondensator over de rotor hulp verlenen. Voor de relais RE4 en RE5, bestemd voor de stuurmotor, zijn de eisen minder groot omdat dit motortje weinig stroom trekt. Wel moet ook hier weer de contactafstand groot zijn om kortsluiting door het wisselcontact te voorkomen.

De microschakelaars S1 en S2 dienen om de motor uit te schakelen als de uiterste roerstanden zijn bereikt. Het zijn verbreekcontacten die door de roerarmen worden ingedrukt. We zien dat de 2 maakcontacten nog vrij zijn om gebruikt te worden voor een klein signaallampje dat aangaat als het roer in één van zijn uiterste standen staat.

Filterunit met schakeltransistors

Het filterdeel is identiek aan dat van figuur 40. Het schakeldeel is nogal gewijzigd (fig.41 en foto 28).

In de collectorleidingen van de filtertransistors zijn nu geen relais opgenomen doch weerstanden van 4,7 k Ω . In de kanalen 1, 2 en 3, voor vooruit, stop en achteruit, wordt de spanningsval over deze weerstand, versterkt door een emitterfollower, gebruikt om 2 integrated circuits te sturen. Deze 2 IC's dienen ten eerste als geheugen, d.w.z. dezelfde taak als de vasthoudschakeling van de relais RE1 en RE2 van figuur 40 en ten tweede als vergrendeling voor het andere kanaal, zodat vooruit en achteruit niet gelijktijdig kunnen worden ingeschakeld.

De IC's zijn opgebouwd uit 3 afzonderlijke poortschakelingen, waarvan we er maar 2 gebruiken, ieder met 3 ingangen (fig.42). Als alle 3 de ingangen G1, G2 en G3 positief zijn dan geleidt de eerste transistor en de uitgang Q1 krijgt

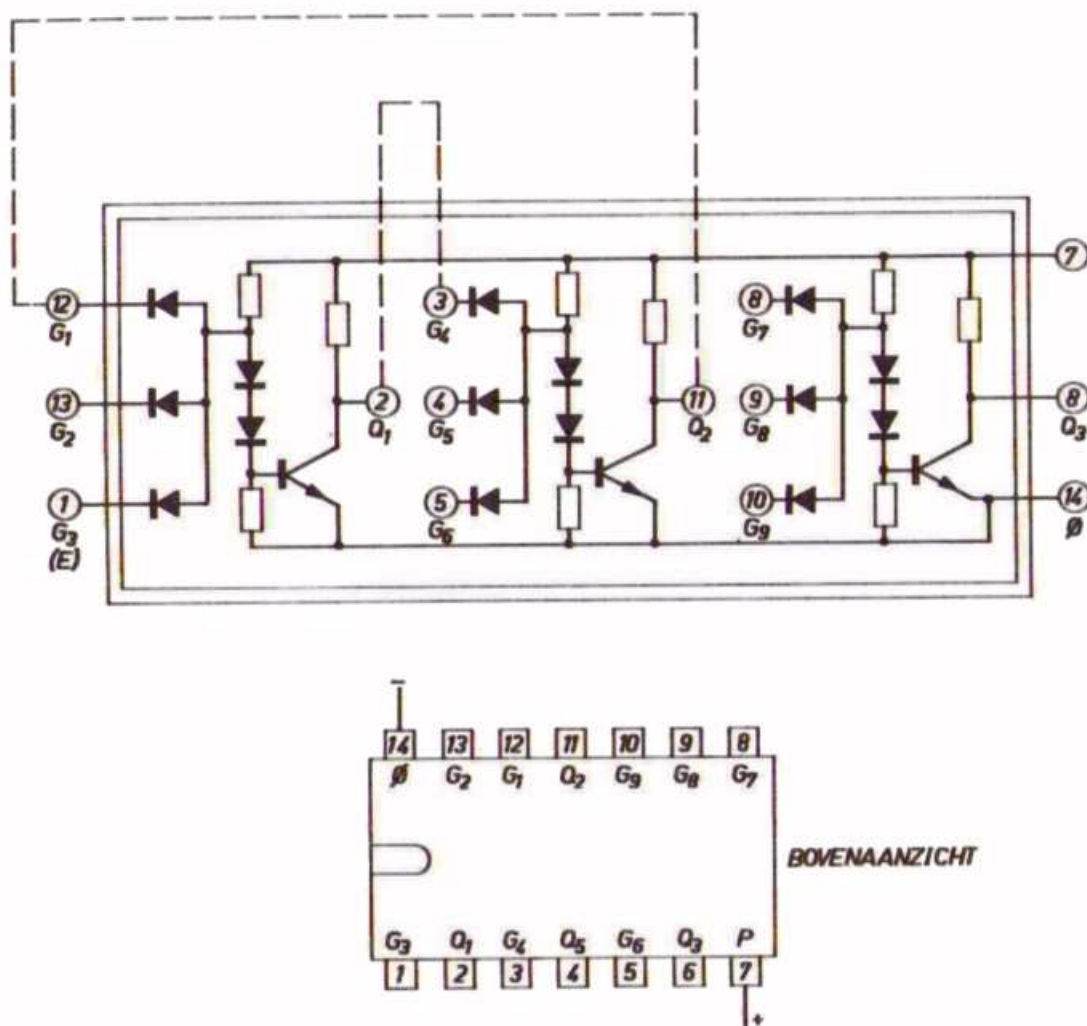


Fig. 42 Integrated circuit FCH 171, 172

nul potentiaal. Als één van de 3 ingangen op nul potentiaal komt te liggen, dan blokkeert de transistor en de spanning van Q1 wordt positief. Een dergelijke schakeling noemt men een nandgate. Door nu de uitgang Q1 met de ingang G4 van de 2^e nandgate te verbinden en de uitgang Q2 weer met de ingang G1 van de eerste, dan ontstaat er een bistabiele multivibrator die als geheugen kan dienen. De multivibrator klapt om als G2 of G3 nul potentiaal krijgt en hij klapt weer terug als G5 of G6 nul wordt.

Wanneer nu op kanaal 1 een signaal wordt gegeven, dan zakt de spanning op poort G₃ (punt 1) en de eerste nandgate blokkeert, dus de spanning op Q1 wordt positief. Ook de spanning op G₄ wordt dan plus waardoor Q2 op nul potentiaal komt. Dan krijgt G₁ nul potentiaal en houdt de multivibrator in de omgeklapte

toestand, ook als het signaal op kanaal 1 weer verdwijnt. De uitgang Q2 van IC₁ is verbonden met de schakeltransistor TR₉, die open gaat zodra Q2 nul potentiaal krijgt, dus als er een commandotoon binnenkomt. Dan gaan ook TR₁₁, TR₁₃ en TR₁₅ open en de aandrijfmotor loopt vooruit. De laatste 2 zijn p-n-p germanium transistors van het type AD 149 of AU 103, die ongeveer 6 A kunnen verdragen. Met de 220 Ω instelpotentiometer kan de stroom door de krachttransistor worden ingesteld zodanig dat de transistors die open moeten zijn hoogstens een spanning van 0,2 V tussen collector en emitter meten als de motor belast is, terwijl de transistors die dicht moeten zijn ook goed dicht zijn.

We hebben nu Q2 ook verbonden met de poort G₆ van IC₂, waardoor G₆ op nul potentiaal wordt gehouden en de multivibrator van IC₂ ongevoelig blijft voor binnenkomende signalen op het achteruitkanaal. Omgekeerd ligt Q2 van IC₂ aan G₆ van IC₁. Verder is poort G₅ (punt 4) van beide IC's met het stopkanaal verbonden. Als op dit kanaal een signaal doorkomt, dan wordt de collector van TR₂ nul en daarmee ook beide poorten G₅. D.w.z.: de multivibrator, die op dat moment omgeklapt staat, klapt weer terug en de schakeltransistors voor de aandrijfmotor blokkeren: de boot stopt. Verder zijn alle ingangspoorten G₁, G₂ en G₃ van beide IC's weer positief geworden en daardoor ontvankelijk voor een nieuw voor- of achteruitsignaal.

De schakeling voor de stuurmotor is wat eenvoudiger omdat hier geen geheugen nodig is. De vergrendeling voor linksaf en rechtsaf is wel nodig. Daarvoor dienen de diodes D₆ en D₇ (zie blz. 70).

De collectors van TR₄ en TR₅ zijn hier direct verbonden met de schakeltransistors.

Er zijn meerdere methodes om de motoren 2 kanten op te laten draaien. Het eenvoudigste is om 2 batterijen te nemen, waarvan de ene dient voor de voeding in voorwaartse richting en de andere achterwaarts. Dit is vooral voor de aandrijfmotor een vrij groot bezwaar omdat er dan 2 zware accu's nodig zijn waarvan de ene, die voor achteruit bestemd is, maar weinig wordt benut.

In onze boot wordt maar met één accu gewerkt die de stroom levert voor bei-

de richtingen. Als TR₁₁ opengaat zien we dat de krachtt transistor TR₁₃ de ene kant van de rotor met de plus verbindt en krachtt transistor TR₁₅ de andere kant met de min. Maar indien nu TR₁₂ geleidt, zal de polariteit omdraaien omdat de krachtt transistors TR₁₄ en TR₁₆ de stroom dan in omgekeerde richting door de rotor sturen. De stroom door de seriewikkeling op de stator houdt in beide gevallen dezelfde richting.

Let er goed op dat de aansluitdraden van de 2 statorwikkelingen S met de juiste polariteit worden aangesloten.

Op gelijke wijze werkt de schakeling van de stuurmotor; alleen de statorwikkeling is hier niet aanwezig omdat we een motor met permanente magneet gebruiken. De contacten S₁ en S₂ voor de begrenzing van de uiterste standen van het roer zijn, in tegenstelling met figuur 40, twee maakcontacten. Er zijn hier dus geen contacten vrij voor signaallampjes.

Voeding

Er zijn 2 voedingsbronnen nodig: één voor de ontvanger en voor de filterunit, die ook de voeding van de stuurmotor verzorgt en één voor de aandrijfmotor.

De eerste kan bestaan uit 4 penlightcellen van $1\frac{1}{2}$ V in de daarvoor bestemde houder, òf uit 5 nikkelcadmium accu's van 1,2 V, 0,5 Ah (hoofdstuk 10).

De aandrijfmotor heeft een zwaardere voeding nodig, b.v. een scooteraccu van 12 V of een accu opgebouwd uit 10 nikkelcadmium accu's van $3\frac{1}{2}$ Ah, 1,2 V (zie foto 28). De maximum vaartijd is dan ongeveer 2 uur, de snelheid 7 km/uur (foto 29).

Ontvanger IV, 12-kanalenontvanger

Eigenlijk is een systeem met veel toonkanalen nauwelijks meer interessant. Het is geheel achterhaald door de proportionele besturingssystemen die vele malen beter werken dan de toonkanalensystemen. Toch zijn er daarvan nog vele in de

handel en ze worden door sommige modelbouwers ook nog steeds gemaakt. De onderdelen ervoor, zoals servomotoren, filterspoelen, reedrelais enz. zijn vrij goedkoop en volop verkrijgbaar. Omstreeks 1968 kwam de grote omwenteling naar proportionele besturing en sindsdien heeft dit systeem vooral voor vliegtuigen zeer snel terrein gewonnen. Vóór die tijd bestond er praktisch niets anders dan toonkanaalbesturing en er werd ook heel wat mee gepresteerd. Nu worden deze systemen nog in hoofdzaak in boten en in rijdende modellen gebruikt, maar voor vliegtuigen, waarbij nu eenmaal veel kanalen nodig zijn en waarbij men er altijd op uit is de techniek van het besturen zo gemakkelijk mogelijk te maken met een minimale kans op fouten, is het proportionele systeem

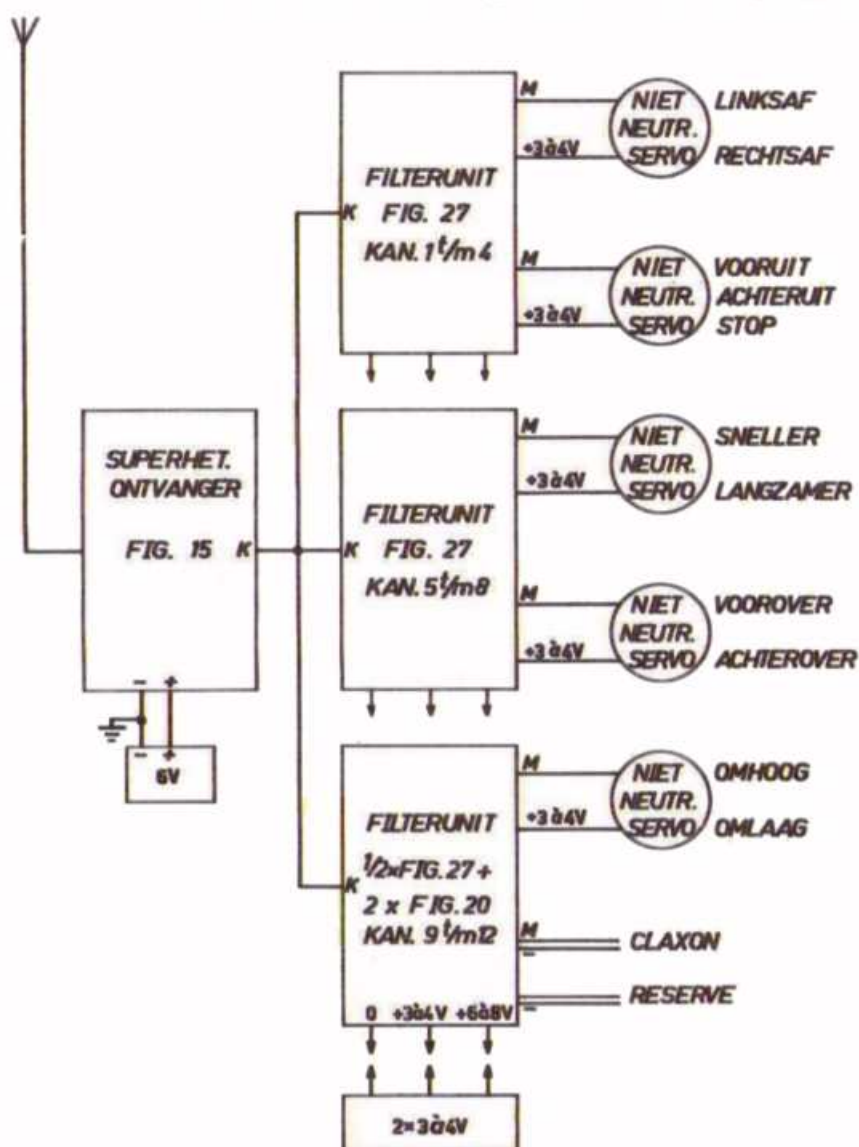


Fig. 43 Blokschema voor een twaalfkanalenontvanger voor een vorkheftruck

favoriet geworden. Voor boten blijft echter het toonkanalensysteem nog altijd zeer gewild omdat het eenvoudig te maken is zonder de hulp van dure meetinstrumenten en de boot is er perfect mee te besturen. Ook worden heftrucks, bulldozers, draglines, brandweerauto's en dergelijke ermee voorzien. Een heftruck b.v. wordt als volgt bestuurd (Fig.43):

2 kanalen voor links - rechts

2 kanalen voor sneller - langzamer (foto 19).

2 kanalen voor vooruit - achteruit (stop)

2 kanalen voor omhoog - omlaag van de vork

2 kanalen voor voorover - achterover van de geleiders

1 kanaal voor de claxon.

Kleine heftrucks, waarin weinig ruimte is voor de elektronica worden bij voorkeur met een reedrelais uitgerust, terwijl de grotere modellen vaak met elektrische toonfilters werken. Voor de besturing van een heftruck gebruikt men gewoonlijk geen zelfneutraliserende servo's omdat deze te snel werken voor een werktuig dat eigenlijk alles betrekkelijk langzaam doet. Met niet zelfneutraliserende servo's heeft men de besturing wat beter onder controle en de bewegingen verlopen wat soepeler. Een goede servo voor dit doel is de Servo-Automatic van Graupner (blz. 93). Voor de vooruit- achteruit- en stopschakelaar wordt een servo gebruikt die in zijn uiterste standen een microschakelaar bedient voor respectievelijk voor- en achteruit. Daar tussenin is geen van beide microschakelaars ingeschakeld en staat de aandrijfmotor op stop. Ook hiervoor is de servo-automatic II geschikt met de uitbreiding van 2 microschakelaars (foto 18).

Een heftruck is altijd een bijzonder leuk ding om te maken, vooral voor diegenen die goed zijn in het ontwerpen van mecaniekjes. Men zou zelfs met Meccano-onderdelen ver kunnen komen.

Terwijl bij heftrucks het gewicht niet klein hoeft te zijn - in tegendeel, wat extra gewicht kan men best gebruiken - is men bij vliegtuigen altijd aan het vechten om het gewicht zo laag mogelijk te houden. Bij een 10- of 12-kanalen-

systeem is men eigenlijk altijd genoodzaakt een reedrelais toe te passen omdat elektrische filters te zwaar worden. De grens hiervoor ligt bij 6, hoogstens 8 kanalen en dan moeten filterspoelen met kleine afmetingen worden gebruikt, b.v. P 14/8, foto 30 (zie ook deel I, blz. 104).

In deel I, figuur 12 is een overzicht gegeven van een 12-kanalensysteem voor vliegtuigen. Met de aanduiding "relais" in dit overzicht wordt hier bedoeld de schakelunit tussen de filters en de servomotoren, die voor vliegtuigen natuurlijk getransistoriseerd moet zijn.

De 12-kanalenontvanger die we hier in het kort zullen behandelen is bestemd om samen te werken met de 12-kanalenzender van hoofdstuk 10, deel I. In figuur 44 is het blokschema voor een 12-kanalenvliegtuig met reedrelais gegeven. De output van de superheterodyne ontvanger gaat direct naar het reedrelais. De laagfrequent output van deze ontvanger is zeer constant, dank zij zijn perfecte automatische volumeregeling.

De schakelunits voor het schakelen van de servomotoren zijn afhankelijk van het type servomotor. Voor mechanisch neutraliserende en niet neutraliserende servo's zijn de schakelunits van figuur 24 van toepassing, of, indien elektrische filters worden gebruikt, figuur 27.

Bij elektrisch neutraliserende en niet-neutraliserende servo's zijn het de schema's van figuur 25, met het reedrelais als filter en figuur 28 met elektrische filters. Wanneer er een keus gemaakt moet worden dan neemt men het liefst de eenvoudigste oplossing.

Voor een 10- of 12-kanalensysteem is dus het reedrelais het aangewezen filter, in combinatie met mechanisch neutraliserende servo's zoals de Graupner Bellamatic II (blz. 91). Ze zijn bestemd voor richtingroer, ailerons en hoogteroer. De schakeling hiervoor is gegeven in figuur 24.

De andere organen, zoals de gasregeling, de trim-hoogteroer, worden met een mechanisch niet neutraliserende servo bediend. In beide gevallen gebeurt dat met de Graupner Servo Automatic II. Deze heeft een grote hefboom met veel kracht. Het trimmen gebeurt volgens figuur 33. Ook hiervoor is de scha-

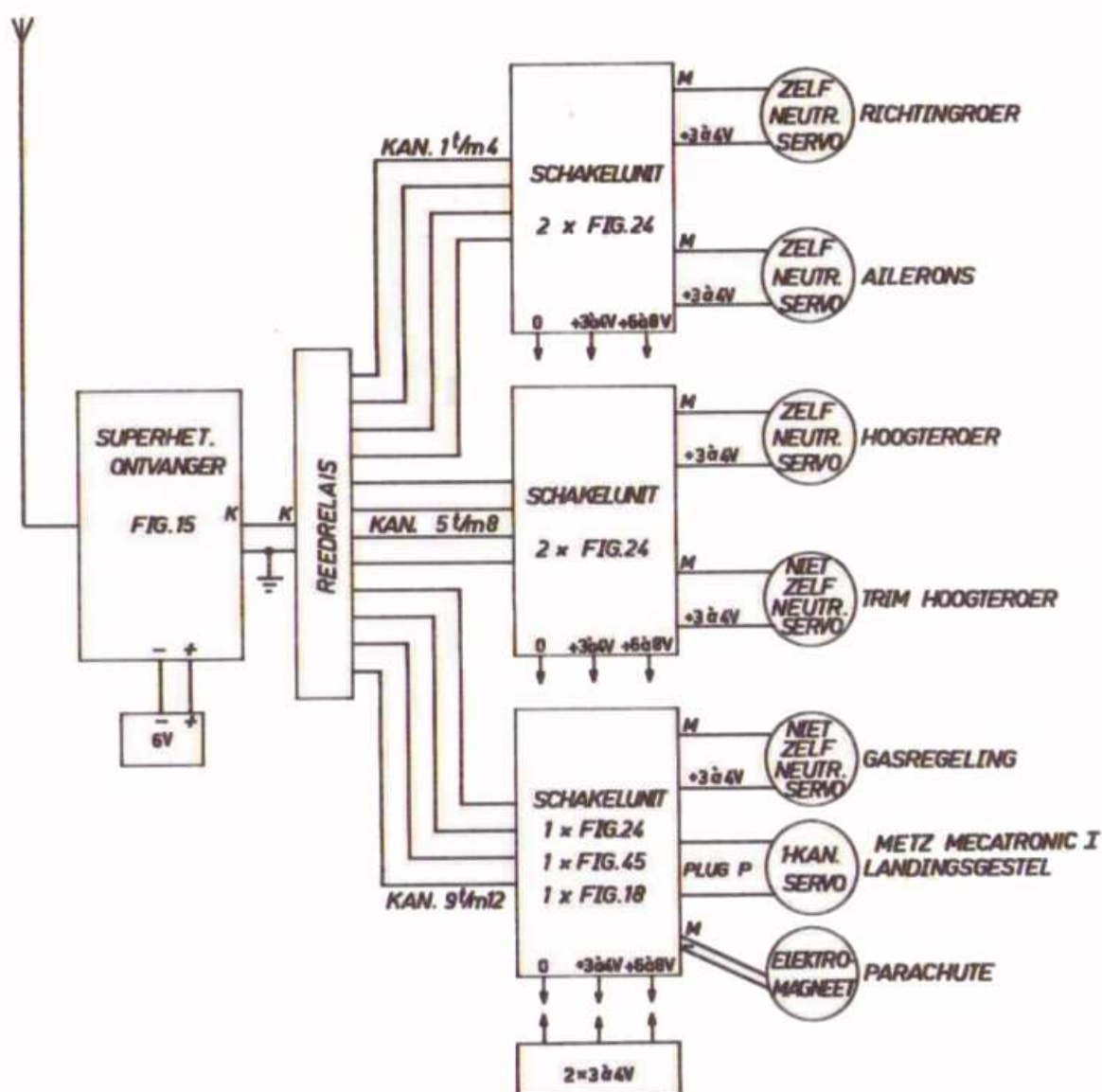


Fig. 44 Blokschema van een twaalfkanalenontvanger voor een vliegtuig

keling van figuur 24 bestemd (foto 31).

Het landingsgestel kan door één kanaal worden gecommandeerd. Een servo met alleen maar 2 uiterste standen is voor dit doel voldoende. Hiervoor kan b.v. de Metz-Mecatronic I (blz. 81) worden genomen.

Deze servo maakt geen grote slag maar heeft wel veel kracht. Hij moet dus met een geschikte hefboom aan het landingsgestel worden gekoppeld. Er zijn 2 uitvoeringen, één om door een relais te worden geschakeld en één voor een transistorunit (190/18T). De laatste is wat eleganter. Hiervoor dient de scha-

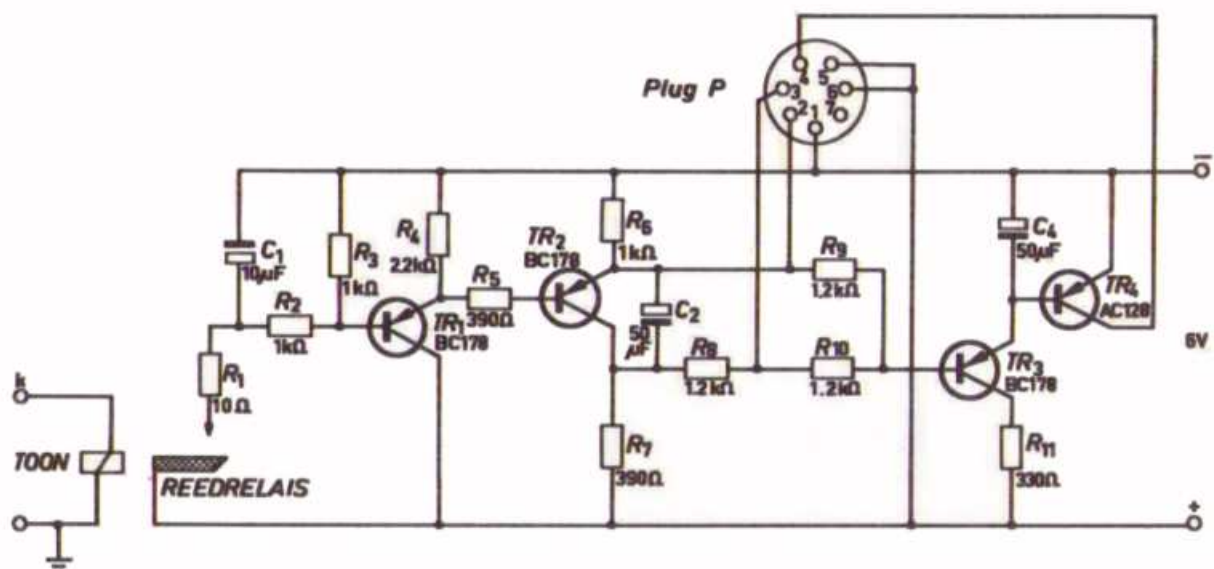


Fig. 45 Schakeling voor de Metz Mecatronic I met reedrelais

kelling van figuur 45. Er worden 3 schijven meegeleverd waarvan no.3 moet worden gebruikt.

Overigens is het helemaal niet nodig dat we een bestaande servo voor dit doel nemen. De meeste modelbouwers zullen over het algemeen zelf wel een servomechaniekje bedenken om het landingsgestel in- en uit te kunnen doen.

Hetzelfde geldt voor het bedienen van de parachute, die met kanaal 12 moet worden losgemaakt. Een simpele elektromagneet met een pal is gemakkelijk zelf te maken en ieder zal ook zelf moeten uitknobbelen hoe dit in zijn model het beste kan worden aangebracht.

Het afstemmen van de toonfrequenties vereist wel enige zorg. De resonantiefrequenties van de tongetjes moeten precies kloppen (ongeveer 0,5% nauwkeurig) met de frequenties van de toongenerator in de zender. Op blz. 146, deel I zijn de waarden gegeven van de condensatoren waarmee de spoelen worden afgestemd bij gebruik van een reedrelais in de ontvanger. Wanneer men zich hier aan houdt met de opgegeven ferroxcubepotjes, dan zal men niet ver naast de waarheid zitten. Kleine afwijkingen kunnen worden gecorrigeerd door de juiste aftakking te kiezen op de spoelen (fig. 91, deel I) en verder kan men corrigeren door kleine condensatoren parallel aan de opgegeven condensator te

schakelen. Het is een moeilijk werkje om de frequenties precies gelijk te krijgen. Maar als het eenmaal is ingesteld blijft het goed onder alle omstandigheden, dus onafhankelijk van de voedingsspanning van de zender en van temperatuur. De toongenerator is dermate stabiel, dat men daar verder nooit meer naar behoeft om te kijken. Het is wel zaak om voordat men met de afregelprocedure begint de volumeregelaar van de ontvanger zodanig in te stellen dat de tongetjes duidelijk zichtbaar trillen.

Bij de montage moet men er rekening mee houden dat alles goed bereikbaar is, dus dat de instelbare delen zoals trimmers, spoelen en potentiometers met de daarvoor bestemde trimsleutels altijd kunnen worden versteld. Verder moet zo licht en zo klein mogelijk worden gebouwd.

Voordat U zich de onderdelen en de servomotoren aanschafft is het raadzaam met Uw winkelier goed te overleggen welke typen voor Uw doel het best geschikt zijn.

We zullen verder niet veel meer uitweiden over het 12-kanalensysteem. Met de in dit boek behandelde ontvangertypen, filterunits en servomotoren kan men alle combinaties maken die men maar wil. Dit zijn eigenlijk de bouwstenen waarmee men naar eigen inzicht het elektronische deel van het model opbouwt.

Het besturen met een toonkanalensysteem vereist wel enige oefening. Men moet korte stootjes aan de stuurorganen geven om soepel te vliegen. Om dit goed in zijn vingers te krijgen doet men het beste eerst met eenvoudige manoeuvres te beginnen en te kijken hoe het vliegtuig op alles wat U doet reageert. Wanneer U dan steeds moeilijker gaat doen zult U het steeds beter beheersen tot U op het laatst dat vliegtuig volkomen aan Uw wil onderwerpt (foto 31).

Afluisterontvanger

Een ieder die zich begeeft op het terrein der radiobesturing doet verstanding te beginnen met de bouw van een kleine afluisterontvanger. In de eerste plaats is

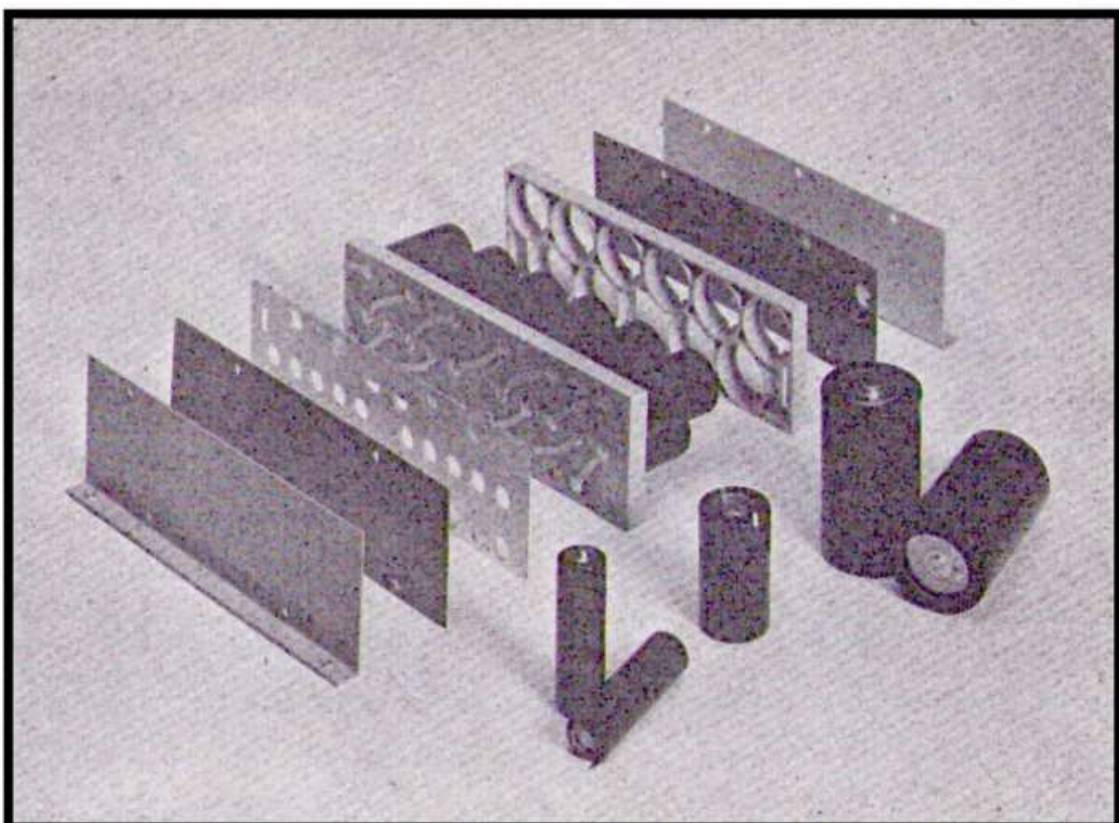


Foto 34. Philips NiCd-accu's: 0,45 A·h, 1,2 A·h en 3 1/2 A·h. Houder voor 10 accu's van 1,2 A·h.



Foto 35. Philips-motor met vierkante montageflens. Bestelnummer 9940 120 07 ... Voedingsspanning 6 V, eventueel ook leverbaar voor andere spanningen. Opgenomen vermogen 2 W, draaisnelheid 3900 omw./min. Koppel 30 g·cm. Afmetingen 39 × 39 × 40,5 mm.

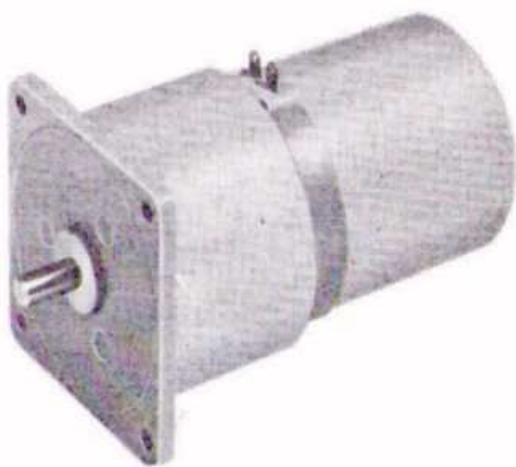


Foto 36. Philips-motor met geïntegreerde vertraging. Bestelnummer 9904 120 51 ... Voedingsspanning 6 V. Opgenomen vermogen 2 W. Leverbaar in 10 verschillende overbrengingsverhoudingen. Draaisnelheid 6 tot 720 omw./min. Koppels tussen 100 en 1500 g·cm. Afmetingen 39 × 39 × 65 mm.

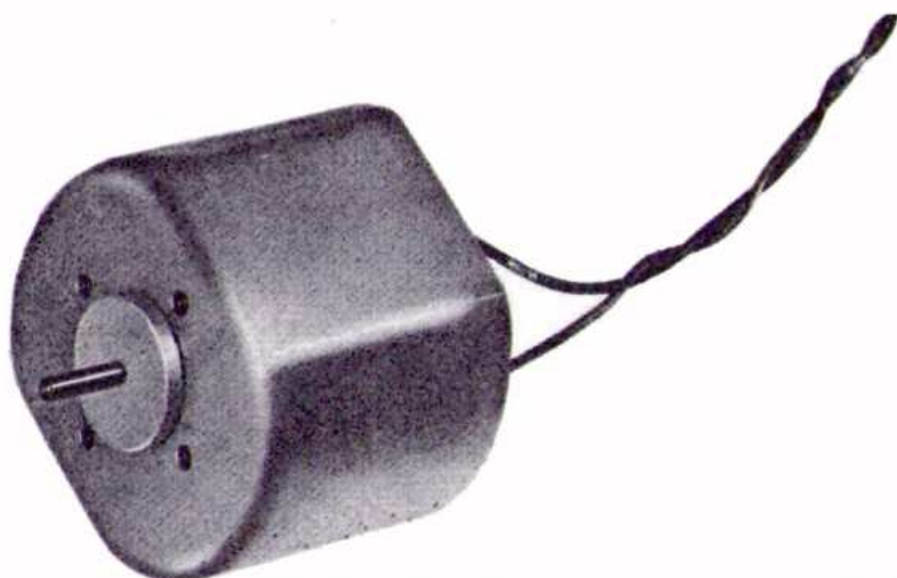


Foto 37. Philips-motor. Bestelnummer 9940 120 03101. Voedingsspanning 3,2 V. Draaisnelheid 2000 omw./min. Koppel 18 g·cm. Afmetingen 27 × 22,5 × 23 mm.

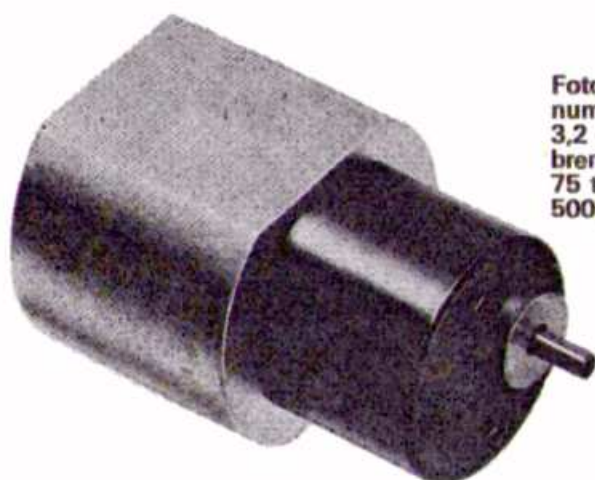


Foto 38. Philips-motor met vertraging. Bestelnummer 9904 120 53101. Voedingsspanning 3,2 V. Leverbaar met vier verschillende overbrengingsverhoudingen. Draaisnelheden van 75 tot 1250 omw./min. Koppels tussen 30 en 500 g·cm. Afmetingen 27 × 22,5 × 38 mm.



Foto 39. Philips-motor met storingsonderdrukkingsfilter. Bestelnummer 9904 120 01502. Voedingsspanning 4,5 V. Draaisnelheid 2000 omw./min. Koppel 11 g·cm. Afmetingen 35 × 35,5 mm.

het een goede oefening en in de tweede plaats is het een onmisbaar hulpparaat dat ons onschatbare diensten kan bewijzen. Het is een superregeneratieve ontvanger met hoogfrequent voortrap; de gevoeligheid is vrij groot en door de aanwezigheid van de voortrap wordt er praktisch niets uitgestraald. Dit laatste is belangrijk omdat het vaak in de nabijheid van ons model wordt gebruikt en ongewenste uitstraling de verrichtingen van het model kan beïnvloeden (zie hoofdstuk 4). Hij ontvangt de hele 27,12 MHz-band zodat men ogenblikkelijk kan controleren of er vreemde zenders in de lucht zijn, die ons kunnen dwars zitten. Verder kan de uitstraling van onze eigen zender er mee worden gecontroleerd, of de modulatie wel goed is en of de reikwijdte aan de eis voldoet.

Als we met de 600 mW-zender van figuur 87 uit deel I werken, is het mogelijk om instructies door te geven; deze zender heeft een ingebouwd luidsprekertje dat als microfoon kan worden gebruikt. U ziet, het is een ontvanger waar men regelmatig naar grijpt.

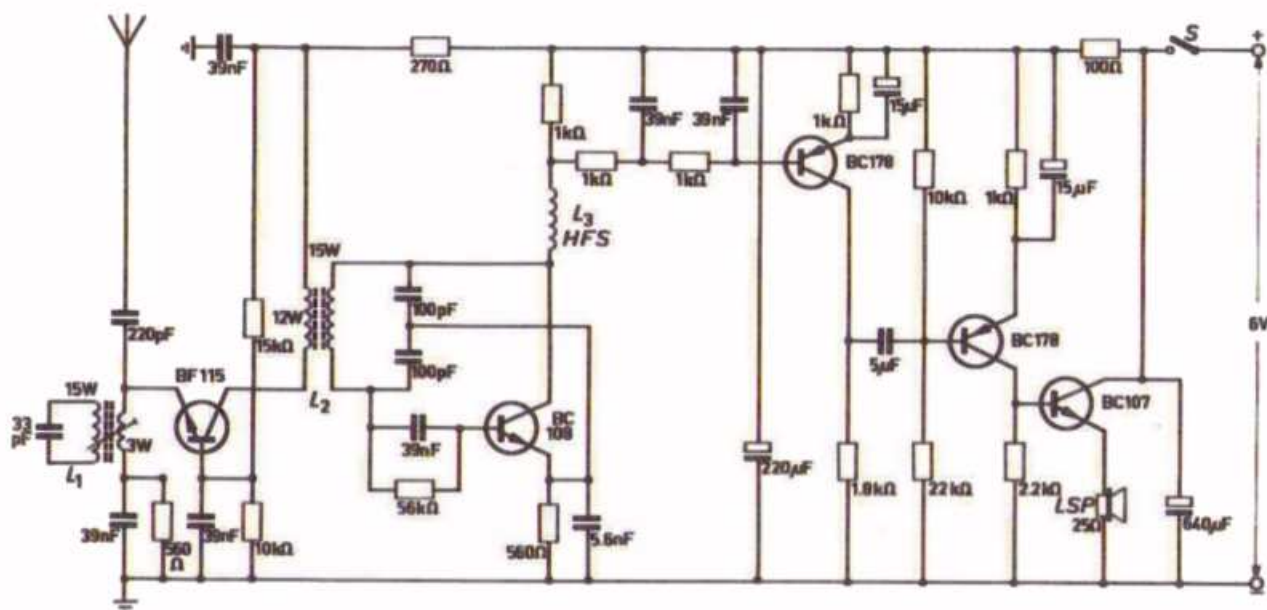


Fig. 46 Afluisterontvanger

- $L_1 \begin{cases} n_1 = 15 \text{ wind.} \\ n_2 = 3 \text{ wind.} \end{cases}$ draad diam. 0,3 mm, spoelkoker diam. 4 mm met poederijzerkern
- $L_2 \begin{cases} n_1 = 12 \text{ wind.} \\ n_2 = 15 \text{ wind.} \end{cases}$ draad diam. 0,3 mm, spoelkoker diam. 4 mm met poederijzerkern
- L_3 hoogfrequent smoorspoel, 100 wind., draad diam. 0,1 mm, spoelkoker diam. 6 mm

Het schema spreekt voor zichzelf (fig.46). Veel hoeven we er niet aan toe te voegen. Het huis moet van metaal worden gemaakt en met de min van de batterij worden verbonden. Hierdoor wordt de uitstraling van het superregeneratieve deel tegengehouden en handeffect voorkomen, terwijl de ontvangst verbetert omdat het huis als aarde dienst doet (foto 32).

De antenne is bij voorkeur uitschuifbaar met een maximum lengte van b.v. 1 m.

DIVERSEN

Voeding

We hebben meestal te maken met 4 gedeelten die gevoed moeten worden, n.l.:

1. ontvanger
2. filterunit
3. stuurmotor
4. aandrijfmotor.

De ontvangers gebruiken niet veel stroom (10 à 20 mA bij 6 of 9 V) en kunnen het best gevoed worden door de bekende "penlight cellen" (foto 33). Dit zijn droge batterijen van $1\frac{1}{2}$ V met afmetingen 14 mm $\varnothing$ en 50 mm lang. Er zijn houdertjes in de handel verkrijgbaar voor 4 en voor 6 cellen, respectievelijk voor 6 en 9 volt. Ze hebben een capaciteit van ongeveer 0,8 Ah (ampère uur). Dus bij een stroomverbruik van 10 mA gaan ze ongeveer 80 uur mee. Philips maakt 2 soorten: de goudkleurige en de zilverkleurige. De eerste heeft een geringere lekstroom dan de tweede en houdt bij niet gebruik langer spanning. Het vermogen is ook iets groter.

In plaats van droge batterijen zijn er ook nikkelcadmium accu's (foto 34) met dezelfde afmetingen verkrijgbaar, die wel veel duurder zijn maar die men een paar honderd keer kan opladen. De spanning is iets minder dan die van de droge batterij n.l. 1,2 V. Men gebruikt hiervoor meestal de houder voor 6 stuks, dus een spanning van 7,2 V. De capaciteit is ongeveer 0,45 Ah. De laadstroom mag vooral de 40 mA niet overschrijden, want dat betekent meestal het einde van de accu.

Men gaat bij voorkeur tot accu's over als men van plan is het model vaak te gebruiken. Dan is men op de lange duur goedkoper uit dan met droge batterijen. Men dient er wel op te rekenen dat de accu's iets zwaarder zijn (n.l. 25 g. ter-

wijl de zilverkleurige penlightcel 14 g weegt en de goudkleurige 20 g) hetgeen voor vliegtuigen wel belangrijk kan zijn.

De voeding van filterunits en stuurmotoren

Indien filterunits worden gebruikt met relais, zoals in de figuren 21 en 26 dan kan de voedingsbron van de ontvanger worden benut. Het stroomverbruik van deze filterunits varieert niet zo veel en zal geen hinderlijke storingen in de ontvanger geven. Het circuit, waarin de relaiscontacten zijn opgenomen en waardoorheen de grote stroomstoten lopen voor de aandrijf- en de stuurmotoren, is geheel gescheiden van het ontvanger- en filtercircuit. De stuurmotoren worden in dit geval meestal door dezelfde voedingsbron van stroom voorzien als de aandrijfmotoren, of op een aftakking daarvan.

Anders wordt het als de filterunit met schakeltransistors is uitgerust zoals in de figuren 25, 27 en 28 is te zien. Dan lopen de stromen voor de stuurmotoren door deze transistors en zullen ongetwijfeld spanningsvariaties en stroompulsen op de voedingsspanning ten gevolge hebben. Dan zal men genoodzaakt zijn een aparte voedingsunit voor deze filterunits te nemen, zelfs met middenaftakking, zoals op de schema's is te zien.

Aangezien filterunits van dit type alleen de stuurmotoren schakelen en niet de aandrijfmotoren, kan men ook hier de voedingsbron met penlightcellen of gelijksoortige nikkel-cadmiumaccu's samenstellen omdat het gemiddelde stroomverbruik laag ligt. De spanning voor deze units bedraagt ongeveer 6 à 8 V met middenaftakking dus b.v. 2 x 3,6 V, opgebouwd uit 6 Ni-Cd-accu's, of 2 x 4,5 met 6 penlightcellen.

De voeding voor de aandrijfmotoren

De grote stromen die hiervoor nodig zijn vereisen een krachtige voedingsbron. In kleine bootjes kan men volstaan met een $4\frac{1}{2}$ V batterij, zoals is gebruikt in

de boot van foto 25, met als aandrijfmotor de 2 watt Philips, foto 35; maar bij grotere boten zal men minstens de monocel moeten gebruiken. Een motor van 10 watt is voor een grote boot nog niet eens veel en die gebruikt bij 12 V al ongeveer 0,8 A. De monocel heeft bij dit verbruik een capaciteit van ongeveer 3 Ah, zodat de vaartijd niet veel meer zal zijn dan 3 uur. De afmetingen van de monocel zijn: 32 mm $\varnothing$ en 60 mm lengte; het gewicht is 95 gr (foto 33).

In de boot van foto 28 zijn Ni-Cd-accu's gebruikt van dezelfde afmetingen (foto 34). Deze hebben een capaciteit van 3,5 Ah en een gewicht van 150 gr. De aandrijfmotor in deze boot is een ventilatormotor van een auto voor 12 V met een stroomverbruik van 1,5 A. De accu's gaan dus hoogstens 2 uur mee en moeten dan opnieuw worden opgeladen, en dat gedurende een laadtijd van 16 uur. De laadstroom mag absoluut niet meer zijn dan 0,35 A. Deze accu's zijn vrij kostbaar en daarom alleen aan te bevelen als ze veel worden gebruikt.

Er bestaan houders waarin zowel monocellen als accu's passen. Er zijn 3 typen, n.l. voor 4, 6 en 8 stuks, dus respectievelijk 6, 9 en 12 V of 4,8, 7,2 en 9,6 V.

Men kan voor de aandrijfmotor ook gebruik maken van loodaccu's. Deze bestaan ook in allerlei maten; de spanningen zijn 6 of 12 V. Ze hebben nogal wat bezwaren o.a. groot gewicht, kwalijke dampen. Na 1 à 2 jaar hebben ze veel van hun capaciteit verloren. Ze zijn goedkoper in aanschaf dan de Ni-Cd-accu's en geven veel vermogen.

Hieronder is het volume en het gewicht per watt/uur gegeven van de genoemde accu's en batterijen:

1. Droge batterijen	10 cm ³ /Wh	20 gr/Wh
2. Ni-Cd-accu's	13 cm ³ /Wh	32 gr/Wh
3. Loodaccu's	13 cm ³ /Wh	35 gr/Wh

Ontstoring

Bij radiobesturing zitten we altijd met het grote probleem dat een ontvanger die

uiteraard gevoelig is voor radiogolven, dicht in zijn omgeving één of meer elektromotoren moet dulden die radiostoringen opwekken over een groot frequentiegebied. Aangezien het gevoeligste deel van de ontvanger de antenne is, zullen we beginnen deze zo ver mogelijk van de motoren met hun bijbehorende toevoersleidingen verwijderd te houden. Verder zullen we de ontvanger moeten afschermen door hem in een metalen doos onder te brengen, die aan aarde wordt gelegd. Ook zal het verbindingskabeltje tussen de antenne en de ontvanger kort moeten zijn. Of, indien dit niet mogelijk is, moet afgeschermd antennekabel worden gebruikt.

Vervolgens trachten we de motor zelf zoveel mogelijk te ontstoren. In de eerste plaats monteren we een condensator van $0,1 \mu\text{F}$ parallel aan de rotor, of, zoals figuur 47 laat zien, 2 condensatoren vanaf de rotor naar aarde. Experimenteel moet vastgesteld worden welke methode de beste is. Blijft de storing bestaan, dan moeten een paar ontstoringsspoelen in serie met de motor worden geschakeld (fig. 47c).

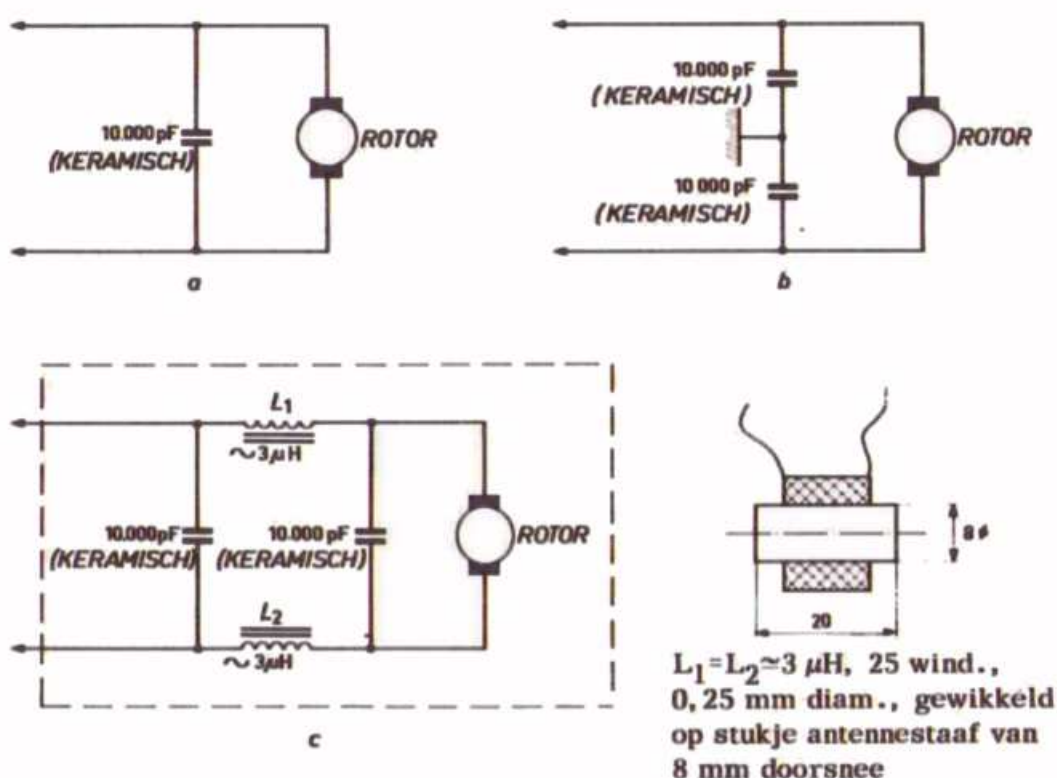


Fig. 47 Ontstoring van motoren

Indien blijkt dat dit niet voldoende is zal de motor afgeschermd moeten worden. Daartoe maken we een metalen huis om de motor heen, zodanig dat er geen elektrische verbinding is tussen dit huis en het motorframe. Dan moeten we proberen wat het beste is: het huis alleen aarden en het motorframe laten zweven ten opzichte van aarde, of beiden aarden.

Ook de ontstoringscondensatoren moeten in dit afschermhuisje worden ondergebracht en eventueel zullen we ook de stroomtoevoerdraden afschermen.

Indien al deze maatregelen nog te weinig effect hebben raden we aan de sturende motor te demonteren en goed schoon te maken, de collector te polijsten of zelfs af te draaien als er veel oneffenheden in zitten.

Verder moeten we er voor zorgen dat alle mechanische delen, zoals schroefas en roeras, goed geaard zijn en de bewegende delen van het roer met een soepel snoertje zijn overbrugd.

Dit soort problemen wordt gewoonlijk op de werkbank opgelost en op een gegeven moment lijkt alles perfect in orde. Maar als we met onze boot gaan varen wordt de aandrijfmotor in het water afgeremd en gaat hij meer stroom opnemen. Hierdoor kunnen de storingen heviger worden. Daarom is het aan te bevelen om, als men met het ontstoren bezig is, steeds de motor even af te remmen om te controleren of dit verschil uitmaakt.

Tenslotte wijzen we er nog op dat een goede aarde, een goede ontvangantenne en een sterke zender met goede zendantenne allemaal meewerken om de storingsproblemen het hoofd te bieden.

Elektromotoren

Er zijn zoveel motoren in de handel die in aanmerking komen voor het sturen en aandrijven van modellen dat het eigenlijk ondoenlijk is hierin enig advies te geven. Toch willen we een paar typen noemen die, wat kwaliteit, nuttig effect en storingen betreft, ons niet teleur zullen stellen.

Het is een serie Philips gelijkstroombmotoren met 5-polige ankers. Dode punten komen dus niet voor. Bij sommige zijn de collectorlamellen op VDR (voltage dependent resistor) materiaal bevestigd, dat de eigenschap heeft bij toenemende spanning in weerstand te verminderen. Mochten er hoge spanningen tussen de lamellen ontstaan die vonken geven, dan neemt de weerstand tussen de lamellen af en daarmee ook de hoge spanning, dus de kans op vonkvorming. Voordeel: geen radiostoring, schone collector, schone borstels, geen inbranding, weinig slijtage.

Op de foto's 35 tot en met 39 zijn deze elektromotoren afgebeeld.

Keuze van de boot

Voor een éénkanaalinstallatie, waarbij men gebruik maakt van een servosysteem zoals de Kinematic, zal men een boot moeten kiezen, die niet langer is dan ongeveer 60 à 70 cm. Er is vrij veel kracht nodig om het roer te verdraaien en dat mag niet boven de prestaties van de Kinematic uitgaan.

Verder vereist een grotere boot meer aandrijfenergie, met vele complicaties van dien. De stromen zijn meestal te groot voor de lichte schakelaars op de servo's en deze verbranden daardoor gauw. De aandrijfmotor moet een echte krachtpatser zijn, met het gevolg, dat de voeding uit een accu van 6 of 12 V moet worden betrokken, die de boot extra zwaar maakt. Al met al is het verstandig, om als beginnening een kleine boot te kiezen.

De zenderinstallatie behoeft niet krachtig te zijn, een paar honderd meter reikwijdte is voldoende (20 mW).

Keuze van het vliegtuig

Om voor radiobesturing geschikt te zijn, moeten de vliegtuigen bij voorkeur een spanwijdte hebben van 1,2 à 1,4 m. Er zijn er ook van 1,8 en van 0,5 m, maar het grote type heeft het bezwaar, dat het moeilijk te transporteren is en het

kleine reageert nogal vinnig op de stuursignalen, terwijl de uitrusting (ontvanger+servomotor) uiterst licht moet zijn. De aandrijfmotor moet bij voorkeur een cilinderinhoud van 2,5 à 5 cc hebben. Zowel een diesel- als een gloeiplugmotor is bruikbaar. De gloeiplugmotor trilt wat minder dan de dieselmotor en verdient gewoonlijk de voorkeur, ook wat betreft de gasregeling.

Voor vliegtuigen met 6 kanalen en meer is de 5-cc motor nog te zwak en gebruikt men liever 8 cc of zelfs 10 cc.

De praktijk van het besturen

Een boot of een auto zal over het algemeen niet veel moeilijkheden opleveren, omdat een eventuele fout niet zoveel risico met zich mee brengt.

Hebt U een boot gebouwd en gaat U die voor het eerst te water laten, dan is het goed om op de volgende punten te letten:

In de eerste plaats moet alles goed werken als de boot in het water ligt. Het blijkt al te vaak, dat dan moeilijkheden ontstaan. Meestal komt dit doordat de schroef wordt afgeremd, waardoor de aandrijfmotor meer stroom gebruikt en gaat vonken. Dit geeft extra storing in de ontvanger. Zoek een plas uit met een zachte oever!

Kies een plek, zodanig, dat de wind de boot altijd naar U toe drijft, voor het geval de aandrijfmotor uitvalt. Neem een zwembroek mee!

U moet er zich natuurlijk altijd van bewust zijn, dat een model, dat naar U toe vaart of rijdt, van U uit gezien tegengesteld reageert, vergeleken met een model, dat zich van U verwijdt. U moet zich altijd voorstellen, dat U zich in het model bevindt; dan is links sturen ook een linkse uitwijking. Het vergt enige oefening.

Het besturen van vliegtuigen is een veel riskantere opgave. De moeilijkheid is, dat men niet goed de gelegenheid heeft om te oefenen, want bij oefenen maakt men fouten en dus kans op brokken: de aardbodem is toch o, zo dichtbij! Daarom moet U nauwkeurig de volgende raad opvolgen:

1. Voordat U van huis gaat, moet U ervan overtuigd zijn, dat alles voor de volle 100% goed functionneert!
2. Zoek een terrein op, waar de ondergrond niet te hard is (hei of weiland) en waar geen bomen staan; parkeer Uw auto een eind weg.
3. Neem een geroutineerde vlieger mee en laat hem eerst het model invliegen, want hij weet uit ervaring wat er aan het vliegtuig moet worden bijgesteld, als het niet goed vliegt. Verder kan hij U stap voor stap de stuurmanoeuvres leren, zodat U er gevoel voor krijgt. Laat hem in het begin het opstijgen en landen voor U doen want dat is vrij moeilijk voor een leerlingvlieger.
4. Controleer ter plaatse weer eerst of alles goed werkt en of U voldoende reikwijdte hebt. Een paar honderd meter op de grond is voldoende. In de lucht is de radioverbinding altijd beter, omdat de absorberende werking van het aardoppervlak dan bijna geen invloed meer heeft.
5. Controleer nog even, of er geen trimmers of instelpotmeters door trillen kunnen verlopen en of alles goed werkt met lopende motoren en met het model in verschillende standen.
6. Controleer of de motoras enigszins naar rechts is gericht.
De reden hiervoor is als volgt:
De schroef van het toestel draait naar rechts (vanuit het vliegtuig gezien). Daarom is er een reactiekoppel op het vliegtuig linksom, waardoor het toestel de neiging heeft een linker bocht te maken. Om dit te compenseren geeft men aan de motoras een paar graden richting naar rechts (weer vanuit het toestel gezien). Men maakt wel eens de fout om aan de neutrale stand van het richtingroer een afwijking naar rechts te geven, maar dat geeft weer moeilijkheden bij "gas af" omdat dan de compensatie niet nodig is.
7. Zoek de richting op tegen de wind in.
8. Doe benzine in de tank, maar vul hoogstens tot de tank half vol is. Want stel dat de apparatuur weigert en het toestel niet meer gehoorzaamt, dan zou het wel eens te ver weg kunnen vliegen en verloren gaan! Stopt de mo-

tor door benzinegebrek, dan komt het toestel vanzelf in glijvlucht aan de grond.

9. Start de motor en laat hem vol gas draaien. Zet het toestel op een vlakke startplaats. Wordt het vliegtuigje losgelaten, dan moet het vanzelf iets omhoog gaan. Zo niet, dan zal een heel klein duwtje tegen de hoogteroerhandel genoeg zijn om het te laten stijgen.
10. Vooral zo weinig mogelijk hoogteroer bedienen, want men bevindt zich oh zo gauw in een duikvlucht en als dit te laag bij de grond gebeurt, dan doet men maar het beste de andere kant op te kijken!
11. Lukt het, om het toestel op voldoende hoogte te krijgen (minstens 30 m), oefen dan in het sturen links en rechts, eveneens met korte pulsen, om het juiste gevoel aan te leren.
12. Oefen daarna het opstijgen en landen goed en U zult steeds meer zelfvertrouwen krijgen. Na vele van deze oefenvluchten kunt U tot wat gewaagdere manoeuvres overgaan.
13. Blijf in het begin vooral niet te lang boven.
14. Als U eenmaal goed geoefend bent, kunt U eens proberen de volgende stunts te maken:
 - a. looping achterover
 - b. looping voorover
 - c. rol linksom
 - d. rol rechtsom
 - e. rugvlucht. Denk eraan, dat dan de besturing van richtingroer en van hoogteroer omgekeerd wordt.
 - f. spin
 - g. verticale acht
15. Het kan zijn dat U niet alleen aan het sturen bent, maar dat er met meerdere zenders tegelijk wordt gewerkt. U weet dat dit alleen kan als het model met een superheterodyne ontvanger is uitgerust.
Natuurlijk moet U in zo'n geval beginnen om met elkaar af te spreken op

welke zendfrequentie U gaat zitten. Er bestaat altijd de kans dat U van zendfrequentie moet veranderen. Daarom is Uw uitrusting niet compleet, als er geen extra set kristallen bij is.

16. Soms gaat men met de zenders zo ver mogelijk uit elkaar staan maar dat is eigenlijk niet gunstig, want dan kan het zijn dat, als ons model dicht bij de andere zender komt, deze er meer over te vertellen krijgt dan wij, door het grote verschil in veldsterkte. Blijf daarom zoveel mogelijk aan dezelfde kant staan.
17. Praat veel met mensen, die ervaring hebben op dit gebied, en word lid van een vereniging.

HOOGFREQUENT AFSTANDBESTURING

Deel 2 Ontvangers

De laatste jaren is de belangstelling voor de afstandbesturing van modellen sterk toegenomen. De techniek ervan is niet eenvoudig: men heeft te maken met zenders, ontvangers en servosystemen, die aan hoge eisen moeten voldoen. Het aantal wegen dat men kan bewandelen is legio en om hier wegwijs in te worden zal een algeheel inzicht in deze materie van zeer veel nut zijn. Daarom wordt de theorie zo ruim mogelijk behandeld en met vele praktische voorbeelden verduidelijkt. Vanwege de uitgebreidheid van het onderwerp werd het boek in twee delen gesplitst, waarvan het eerste de zenders en het tweede de ontvangers behandelt.

In dit tweede boek worden een paar schema's van ontvangers volledig uitgewerkt, die behoren bij de zenders welke in deel I worden beschreven. Men zou eventueel alle daaraan voorafgaande hoofdstukken kunnen overslaan en direkt de schema's gaan nabouwen. Maar beter is het om er wat meer tijd aan te besteden om achter het hoe en waarom te komen en zo kansen op fouten en teleurstellingen te verminderen.

Voor wat zich tussen de zender en de ontvanger afspeelt wordt verwezen naar het boek "Radiogolven".